

VALORISER LES MATIÈRES RÉSIDUELLES DU TRANSPORT MARITIME COMMERCIAL SELON LA
HIÉRARCHIE DES 3RV-E

Par
Audrey Rochon

Essai présenté au
Centre universitaire de formation en environnement et développement durable
en vue de l'obtention du grade de maîtrise en environnement (M. Env.)

Sous la direction de Marc Olivier

MAÎTRISE EN ENVIRONNEMENT
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Mai 2020

SOMMAIRE

Mots-clés : transport maritime domestique, gestion des matières résiduelles, 3RV-E, modes de gestion, voies de traitement, voie maritime du Saint-Laurent

Le transport maritime est un élément essentiel de l'approvisionnement au Québec. Les navires commerciaux domestiques transitent des marchandises indispensables sur la voie maritime du Saint-Laurent. Les navires peuvent transporter de bien plus grandes quantités de marchandises que le transport routier et ferroviaire. Ils comportent toutefois quelques enjeux environnementaux tels que la gestion des matières résiduelles à bord. Les armateurs démontrent un intérêt envers des bonnes pratiques de en favorisant la valorisation des matières, plutôt que leur élimination. Ainsi, cet essai vise la création d'un outil décisionnel pour les armateurs leur permettant de déterminer quels modes de gestion des matières résiduelles et voies de traitement sont les plus avantageux environnementalement, socialement et économiquement selon l'approche des 3RV-E.

Les modes de gestion à l'étude sont l'entreposage des matières résiduelles à bord, un compacteur, un déchiqueteur, un broyeur à verre, un composteur domestique, un déshydrateur, un incinérateur, un gazéificateur et un système de destruction par plasma. Une analyse multicritère évaluant les risques pour la santé et la sécurité de l'équipe, l'économie d'espace à bord, les coûts associés sur 5 ans, le potentiel de valorisation des matières traitées et l'impact environnemental a démontré que le compacteur est le mode de gestion le plus avantageux. Une deuxième analyse multicritère s'est penchée sur les voies de traitement disponibles sur l'île de Montréal : un centre de compostage, un centre de biométhanisation, un centre de tri, l'entreprise Polystyvert, le système de la consigne et un lieu d'enfouissement technique. Des critères sur la faisabilité, l'accessibilité, les impacts environnementaux et sur la priorisation selon les 3RV-E ont désigné le centre de compostage et le centre de tri comme les meilleures voies de traitement.

Une analyse de priorisation a permis de relier les deux analyses multicritères. Des scénarios de gestion combinant un mode de gestion à une voie de traitement ont été comparés à l'aide des pointages des analyses précédentes. Les pointages démontrent que les matières organiques doivent être entreposées (dans un congélateur ou non) et envoyées au centre de compostage, tandis que les matières recyclables doivent être compactées et envoyées au centre de tri. L'outil décisionnel reprend l'analyse de priorisation en offrant la possibilité aux armateurs de pondérer les critères. Si utilisé, l'outil décisionnel pourrait modifier les résultats de l'analyse de priorisation en fonction des intérêts de l'armateur.

Les recommandations sont basées sur l'analyse de priorisation. D'abord, il est suggéré d'équiper les navires d'un compacteur et de congélateurs afin de faciliter l'entreposage des matières résiduelles à bord. Évidemment, il est aussi conseillé aux armateurs d'utiliser l'outil décisionnel pour obtenir des résultats modulés en fonction de leurs priorités. Finalement, il est proposé d'effectuer une mutualisation de la gestion des matières résiduelles des armateurs domestiques et d'y inclure les ports.

REMERCIEMENTS

Je tiens d'abord à remercier les collaborateurs qui m'ont permis de réaliser cet essai. Merci à Canada Steamship Lines et son équipe avec lesquels j'ai eu énormément de plaisir à travailler. Je remercie Transport Desgagnés de m'avoir offert son temps et partagé leurs données. Je souligne aussi la collaboration de Technopole maritime du Québec et MeRLIN qui ont suivi mon projet et permis de le présenter.

Un grand merci à Marc Olivier pour ta direction et ton souci du détail. Je suis reconnaissante de ton engagement envers moi et de ta contribution à ce travail.

Finalement, je souhaite remercier mes amis et collègues de la maîtrise. Votre soutien tout au long de la rédaction a été précieux. Merci aussi à mon copain de m'avoir assise devant mon ordinateur plus d'une fois. Je remercie également ma famille qui n'a jamais manqué à me demander à combien de pages j'étais rendue !

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
1. MISE EN CONTEXTE	3
1.1. Portrait du transport maritime au Québec	3
1.1.1 La Voie maritime du Saint-Laurent	3
1.1.2 Les ports	5
1.1.3 Les navires commerciaux du réseau Saint-Laurent – Grands Lacs	7
1.1.4 Introduction aux enjeux environnementaux des navires	8
1.2. La problématique	10
1.2.1 État de la situation en GMR à bord des navires	11
1.2.2 Objectifs et portée	13
2. CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE	15
2.1. MARPOL	15
2.2. Réglementation fédérale	16
2.2.1 Loi canadienne sur la protection de l'environnement	16
2.2.2 Loi sur les eaux navigables	16
2.2.3 Loi de 2001 sur la marine marchande du Canada	16
2.2.4 Règlement sur la pollution par les bâtiments et sur les produits chimiques dangereux	16
2.2.5 Directive relative aux déchets internationaux	17
2.2.6 Accord relatif à la qualité de l'eau des Grands Lacs de 2012	17
2.3. Politique québécoise de gestion des matières résiduelles	18
2.4. Synthèse du contexte réglementaire	18
3. MÉTHODOLOGIE	20
3.1. Analyse des modes de gestion	20
3.2. Analyse des voies de traitement	24
3.3. Analyse de priorisation et outil décisionnel	27
4. FLUX DES MATIÈRES RÉSIDUELLES À BORD DES NAVIRES COMMERCIAUX	28
4.1. Matières recyclables	29
4.1.1 Plastique	29

4.1.2	Papier et carton	30
4.1.3	Verre	30
4.1.4	Métaux recyclables	30
4.2.	Matières organiques	30
4.3.	Déchets domestiques	31
4.4.	Résumé des volumes des matières résiduelles produites à bord des navires	31
5.	MODES DE GESTION DES MATIÈRES RÉSIDUELLES À BORD DES NAVIRES	32
5.1.	Entreposage	33
5.1.1	Risques pour la santé et sécurité.....	34
5.1.2	Économie d'espace à bord	34
5.1.3	Couts associés sur 5 ans	34
5.1.4	Potentiel de valorisation	35
5.1.5	Impact environnemental.....	35
5.1.6	Synthèse de l'entreposage	35
5.2.	Congélateur	36
5.2.1	Risques pour la santé et sécurité.....	36
5.2.2	Économie d'espace à bord	37
5.2.3	Couts associés sur 5 ans	37
5.2.4	Potentiel de valorisation	37
5.2.5	Impact environnemental.....	38
5.2.6	Synthèse du congélateur	38
5.3.	Compacteur	39
5.3.1	Risques pour la santé et sécurité.....	39
5.3.2	Économie d'espace à bord	40
5.3.3	Couts associés sur 5 ans	40
5.3.4	Potentiel de valorisation	40
5.3.5	Impact environnemental.....	41
5.3.6	Synthèse du compacteur	41
5.4.	Déchiqueteur	42

5.4.1	Risques pour la santé et sécurité.....	42
5.4.2	Économie d'espace à bord	43
5.4.3	Couts associés sur 5 ans	43
5.4.4	Potentiel de valorisation	44
5.4.5	Impact environnemental.....	44
5.4.6	Synthèse du déchiqueteur	44
5.5.	Broyeur à verre	45
5.5.1	Risques pour la santé et sécurité.....	45
5.5.2	Économie d'espace à bord	46
5.5.3	Couts associés sur 5 ans	46
5.5.4	Potentiel de valorisation	46
5.5.5	Impact environnemental.....	47
5.5.6	Synthèse du broyeur à verre.....	47
5.6.	Composteur	48
5.6.1	Risques pour la santé et sécurité.....	48
5.6.2	Économie d'espace à bord	49
5.6.3	Couts associés sur 5 ans	49
5.6.4	Potentiel de valorisation	49
5.6.5	Impact environnemental.....	50
5.6.6	Synthèse du composteur	50
5.7.	Déshydrateur	51
5.7.1	Risques pour la santé et sécurité.....	52
5.7.2	Économie d'espace à bord	52
5.7.3	Couts associés sur 5 ans	52
5.7.4	Potentiel de valorisation	52
5.7.5	Impact environnemental.....	53
5.7.6	Synthèse du déshydrateur	54
5.8.	Incinérateur	54
5.8.1	Risques pour la santé et sécurité.....	55

5.8.2	Économie d'espace à bord	56
5.8.3	Couts associés sur 5 ans	56
5.8.4	Potentiel de valorisation	56
5.8.5	Impact environnemental	57
5.8.6	Synthèse de l'incinérateur	58
5.9.	Gazéificateur MAGS	58
5.9.1	Risques pour la santé et sécurité	59
5.9.2	Économie d'espace à bord	59
5.9.3	Couts associés sur 5 ans	60
5.9.4	Potentiel de valorisation	60
5.9.5	Impact environnemental	61
5.9.6	Synthèse du MAGS	62
5.10.	Système de destruction des déchets au plasma d'arc (PAWDS)	63
5.10.1	Risques pour la santé et sécurité	63
5.10.2	Économie d'espace à bord	64
5.10.3	Couts associés sur 5 ans	64
5.10.4	Potentiel de valorisation	65
5.10.5	Impact environnemental	65
5.10.6	Synthèse du PAWDS	67
5.11.	Synthèse de l'analyse multicritère des modes de gestion	67
6.	VOIES DE TRAITEMENT DES MATIÈRES RÉSIDUELLES DES NAVIRES COMMERCIAUX	70
6.1.	Centre de compostage	70
6.1.1	Faisabilité	71
6.1.2	Accessibilité	71
6.1.3	Impact environnemental	71
6.1.4	Priorisation selon les 3RV-E	72
6.1.5	Synthèse du centre de compostage	72
6.2.	Centre de biométhanisation	72
6.2.1	Faisabilité	73

6.2.2	Accessibilité	73
6.2.3	Impact environnemental.....	73
6.2.4	Priorisation selon les 3RV-E	74
6.2.5	Synthèse du centre de biométhanisation.....	74
6.3.	Centre de tri	74
6.3.1	Faisabilité	74
6.3.2	Accessibilité	75
6.3.3	Impact environnemental.....	75
6.3.4	Priorisation selon les 3RV-E	76
6.3.5	Synthèse du centre de tri	76
6.4.	Polystyvert	76
6.4.1	Faisabilité	77
6.4.2	Accessibilité	77
6.4.3	Impact environnemental.....	77
6.4.4	Priorisation selon les 3RV-E	78
6.4.5	Synthèse de Polystyvert	78
6.5.	Consigne.....	78
6.5.1	Faisabilité	79
6.5.2	Accessibilité	79
6.5.3	Impact environnemental.....	79
6.5.4	Priorisation selon les 3RV-E	79
6.5.5	Synthèse de la consigne	80
6.6.	Lieu d'enfouissement technique	80
6.6.1	Faisabilité	80
6.6.2	Accessibilité	81
6.6.3	Impact environnemental.....	81
6.6.4	Priorisation selon les 3RV-E	82
6.6.5	Synthèse du lieu d'enfouissement technique	82
6.7.	Synthèse de l'analyse des voies de traitement	82

7. ANALYSE DE PRIORISATION ET OUTIL DÉCISIONNEL	85
7.1. Analyse de priorisation	85
7.1.1 Matières organiques	90
7.1.2 Déchets domestiques	91
7.1.3 Matières recyclables	91
7.2. Outil décisionnel	92
8. RECOMMANDATIONS	94
CONCLUSION.....	97
RÉFÉRENCES	99
ANNEXE 1 - APERÇU SIMPLIFIÉ DES DISPOSITIONS DE DÉCHARGE DE L'ANNEXE 5 DE MARPOL RÉVISÉ ENTRÉ EN VIGUEUR LE 1 ^{ER} MARS 2018	110
ANNEXE 2 - MASSES VOLUMIQUES DES DIFFÉRENTES MATIÈRES RÉSIDUELLES	112
ANNEXE 3 - ÉVALUATION DES RISQUES POUR LA SANTÉ ET SÉCURITÉ DES MODES DE GESTION	113
ANNEXE 4 - COUTS LIÉS AU DÉCHARGEMENT au port DES MATIÈRES RÉSIDUELLES D'UN NAVIRE.....	117
ANNEXE 5 - VOIES DE TRAITEMENT DES FINALITÉS SORTANT DES MODES DE GESTION À BORD	123
ANNEXE 6 - ÉMISSIONS GES DES OPTIONS DE GESTION DES MATIÈRES RÉSIDUELLES	125

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Figure 1.1	Le système hydrographique du Saint-Laurent	4
Figure 1.2	Administrations portuaires canadiennes et tonnes de marchandises manutentionnées en 2018	6
Figure 1.3	Réseau portuaire commercial stratégique du Québec	7
Figure 1.4	Impacts environnementaux potentiels des navires commerciaux	8
Figure 3.1	Faisabilité des voies de traitement.....	25
Figure 3.2	Emplacement des voies de traitement sur l'île de Montréal	26
Figure 4.1	Ilots de tri sur un navire	29
Figure 4.2	Bac de collecte de matières organiques dans la salle à manger d'un navire	30
Figure 5.1	Modes de gestion associés flux de matières résiduelles traitées	33
Figure 5.2	Entreposage des matières résiduelles à bord des navires	33
Figure 5.3	Congélateurs à bord d'un navire	36
Figure 5.4	Compacteurs à bord de navires	39
Figure 5.5	Déchiqueteur Evac UMS 5050.....	42
Figure 5.6	Broyeur à verre Evac U80.....	45
Figure 5.7	Citypod M	48
Figure 5.8	Déshydrateurs	51
Figure 5.9	Incinérateur	55
Figure 5.10	Système de microautogazéification MAGS.....	59
Figure 5.11	Système de destruction des déchets au plasma d'arc (PAWDS).....	63
Figure 7.1	Aperçu de l'outil décisionnel.....	93
Tableau 1.1	Gestion des matières résiduelles à bord des navires de certains armateurs domestiques.....	12
Tableau 2.1	Aperçu des autorisations et interdictions de gestion des matières résiduelles à bord d'un navire sur la voie maritime du Saint-Laurent	19
Tableau 3.1	Critères d'évaluation des modes de gestion à bord des navires	21
Tableau 3.2	Critères d'évaluation des voies de traitement	24
Tableau 4.1	Volumes et masses des différents flux de matières résiduelles à bord des navires commerciaux canadiens	31
Tableau 5.1	Potentiel de valorisation de l'entreposage	35
Tableau 5.2	Résultats de l'analyse multicritère : entreposage	35
Tableau 5.3	Potentiel de valorisation du congélateur	38
Tableau 5.4	Résultats de l'analyse multicritère : congélateurs	38
Tableau 5.5	Potentiel de valorisation du compacteur	41
Tableau 5.6	Résultats de l'analyse multicritère : compacteur.....	41
Tableau 5.7	Potentiel de valorisation du déchiqueteur	44

Tableau 5.8	Résultats de l'analyse multicritère : déchiqueteur	45
Tableau 5.9	Potentiel de valorisation du broyeur	47
Tableau 5.10	Résultats de l'analyse multicritère : broyeur à verre	47
Tableau 5.11	Potentiel de valorisation du composteur	50
Tableau 5.12	Émissions GES directes du compostage	50
Tableau 5.13	Résultats de l'analyse multicritère : composteur	51
Tableau 5.14	Potentiel de valorisation du déshydrateur	53
Tableau 5.15	Émissions GES directes (estimation) du déshydrateur	53
Tableau 5.16	Résultats de l'analyse multicritère : déshydrateur	54
Tableau 5.17	Potentiel de valorisation de l'incinérateur	57
Tableau 5.18	Émissions GES directes de l'incinérateur	57
Tableau 5.19	Résultats de l'analyse multicritère : incinérateur	58
Tableau 5.20	Potentiel de valorisation du MAGS	61
Tableau 5.21	Émissions GES directes du MAGS	62
Tableau 5.22	Résultats de l'analyse multicritère : MAGS	62
Tableau 5.23	Potentiel de valorisation du PAWDS	65
Tableau 5.24	Impact environnemental du PAWDS	66
Tableau 5.25	Résultats de l'analyse multicritère : PAWDS	67
Tableau 5.26	Synthèse de l'analyse multicritère des modes de gestion; les modes les plus avantageux surlignés en vert	68
Tableau 6.1	Émissions GES nettes des matières recyclables en centre de compostage	72
Tableau 6.2	Résultats de l'analyse multicritère : Centre de compostage	72
Tableau 6.3	Émissions GES nettes des matières recyclables en centre de biométhanisation	73
Tableau 6.4	Résultats de l'analyse multicritère : Centre de biométhanisation	74
Tableau 6.5	Faisabilité des centres de tri	75
Tableau 6.6	Émissions GES nettes des matières recyclables en centre de tri	76
Tableau 6.7	Résultats de l'analyse multicritère : Centre de tri	76
Tableau 6.8	Résultats de l'analyse multicritère : Polystyvert	78
Tableau 6.9	Résultats de l'analyse multicritère : Consigne	80
Tableau 6.10	Émissions GES nettes des matières recyclables du lieu d'enfouissement technique	81
Tableau 6.11	Résultats de l'analyse multicritère : Lieu d'enfouissement technique	82
Tableau 6.12	Synthèse de l'analyse multicritère des voies de traitement; les voies les plus avantageuses surlignées en vert	83
Tableau 7.1a	Analyse de priorisation des modes de gestion et des voies de traitement des matières résiduelles à bord : Matières organiques	86
Tableau 7.1b	Analyse de priorisation des modes de gestion et des voies de traitement des matières résiduelles à bord : Déchets domestiques	87
Tableau 7.1c	Analyse de priorisation des modes de gestion et des voies de traitement des matières résiduelles à bord : Matières recyclables	88

LISTE DES ACRONYMES ET SIGLES

ABS	American Bureau of Shipping
ACIA	Agence canadienne d'inspection des aliments
AP	Avec pondération
APC	Administration portuaire canadienne
ASL	Armateurs du Saint-Laurent
BNQ	Bureau de normalisation du Québec
CGVMSL	Corporation de gestion de la voie maritime du Saint-Laurent
CO	Monoxyde de carbone
CO ₂	Dioxyde de carbone
CSL	Canada Steamship Lines
CSMOIN	Comité sectoriel de main-d'œuvre de l'industrie maritime
éCO ₂	Équivalent CO ₂
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GMR	Gestion des matières résiduelles
ICI	Industries, commerces et institutions
kW	Kilowatts
kWh	Kilowattheure
LET	Lieu d'enfouissement technique
MAGS	Système de microautogazéification
MARPOL	Convention internationale pour la prévention de la pollution par les navires
MELCC	Ministère de l'Environnement et de la Lutte aux changements climatiques
Mt	Million de tonnes métriques
nm	mile nautique
NO _x	Oxydes d'azote
OIT	Organisation internationale du travail

OMI	Organisation maritime mondiale
PAWDS	Système de destruction des déchets au plasma d'arc
PCB	Polychlorobiphényles
PIB	Produit intérieur brut
PM	Matière particulaire
PVC	Polychlorures de vinyle
REIMR	Règlement sur l'enfouissement et l'incinération des matières résiduelles
SP	Sans pondération
SO _x	Oxydes de soufre
SODES	Société de développement économique du Saint-Laurent
TBT	Tributylétain
TMCD	Transport maritime de courte distance
TMk	Tonne métrique par kilomètre
WHO	World Health Organization
WWF	World Wildlife Fund

LEXIQUE

3RV-E	Modèle de priorisation des actions à prendre pour gérer les matières résiduelles : réduction, réemploi, recyclage, valorisation et élimination (Olivier, 2016).
Aérobie	En présence d'oxygène (Olivier, 2016).
Anaérobie	En absence d'oxygène (Olivier, 2016).
Armateur	Transporteurs qui assurent la navigation commerciale sur les fleuves, les lacs et les océans (Plan d'action Saint-Laurent, 2017). Il possède (ou loue) et finance le navire (Armateurs du Saint-Laurent, 2016).
Biochar	Coproduit de la pyrolyse sous forme de fragments gris-noir, légers, poreux et riches en carbone (Biopterre, 2018).
Centre de tri	Lieu où s'effectuent le tri, le conditionnement et la mise en marché des matières récupérées par la collecte sélective (Olivier, 2016).
Compost	Produit hygiénique, stabilisé, obtenu par un procédé de compostage et contenant des matières humiques, des éléments minéraux, des microorganismes, de l'eau et de l'espace granulaire (Olivier, 2016).
Consigne	Perception d'une somme d'argent remboursable pour favoriser la récupération d'un contenant après usage (Olivier, 2016).
Déchet	Matière résiduelle destinée à l'élimination. Tout matériau issu d'une activité anthropique qui ne peut être que jeté, qui ne peut pas être recyclé ou composté. (Olivier, 2016)
Eau de ballast	Eau qui remplit des réservoirs situés au fond de la cale du navire pour en assurer la stabilité (Port de Montréal, 2015).
Élimination	Consiste à se débarrasser des matériaux sans faire davantage d'efforts pour appliquer le concept des 3RV-E. L'élimination domine par l'enfouissement des matériaux et par l'incinération de ceux-ci. (Olivier, 2016)
Fret	Prix du transport de la marchandise, du loyer du navire ou des marchandises elles-mêmes (CSMOIM, 2011).
Finalité de mode de gestion	Matière traitée ou non traitée finale résultant d'un mode de gestion (ex. poudre de matière déshydratée et cendre d'incinération).
Gazéification	Transformation thermochimique de la matière organique en présence d'un gaz réactif de façon à obtenir des molécules simples de gaz (Olivier, 2016).
Mâchefer	Résidu solide à forte teneur métallique formé lors de la combustion des ordures ou du charbon (Olivier, 2016).

Mode de gestion (à bord)	Manière de gérer les matières résiduelles à bord des navires, incluant l'entreposage, le traitement physique (ex. compacteur) et le traitement chimique (ex. incinérateur).
Ordures	Toutes matières résiduelles alimentaires, domestiques et opérationnelles, tous plastiques, résidus de cargaison, cendres d'incinération, huile à cuisson, matériels de pêche, et carcasses d'animal, générés durant les opérations habituelles d'un navire et devant être éliminés continuellement ou périodiquement (traduction libre de : OMI, 2011).
Pyrolyse	Décomposition thermique en mode anaérobie (Olivier, 2016).
Recyclage	Utilisation d'une matière secondaire dans le procédé manufacturier dont il est issu, en remplacement d'une matière vierge de même nature (Olivier, 2016).
Scories	Résidus solides provenant de la fusion de minerais métalliques ou de l'affinage des métaux (Olivier, 2016).
Terminal	Quais aménagés spécialement pour recevoir un type de marchandise et d'en permettre la manipulation, l'entreposage et l'évacuer (CSMOIM, 2011).
Transport maritime domestique	La marchandise est chargée et déchargée à travers le réseau de ports canadiens. Aussi appelé cabotage (Pêches et Océans Canada, 2002).
Transport maritime courte distance (ou cabotage)	L'expédition commerciale de marchandises ou le transport de passagers par voie maritime domestique ou internationale, en général opérant le long des côtes et dans les eaux intérieures sans traverser d'océan (Armateurs du Saint-Laurent, 2016).
Valorisation	Mise en valeur d'une matière résiduelle par une transformation chimique qui modifie radicalement la nature du matériau. Le changement de nature ne permet pas le réemploi, la réutilisation ou le recyclage (Olivier, 2016).
Voie de traitement	Cheminement des matières à terre jusqu'à son traitement final. Celui-ci inclut l'enfouissement, le recyclage et la valorisation des matières résiduelles.

INTRODUCTION

Au Québec, 90 % des biens utilisés par la population sont approvisionnés par voie maritime (Plan d'action Saint-Laurent, 2017; Transport Canada, 2018). Le Saint-Laurent s'avère être la porte d'entrée au cœur industriel nord-américain en offrant l'accès aux Grands Lacs (Société de développement économique du Saint-Laurent [SODES], 2015b). Pour atteindre les Grands Lacs, les navires doivent naviguer par la voie maritime du Saint-Laurent s'étendant du lac Supérieur jusqu'à l'océan Atlantique. La section à l'ouest de Montréal est ponctuée d'écluses. La taille des navires est donc restreinte aux dimensions des écluses (Administration de pilotage des Grands Lacs, 2017). Les navires commerciaux transbordent toute sorte de marchandises : céréales, gravier, sel, ciment, hydrocarbures, éthanol, minerai de fer et d'autres marchandises générales (Corporation de gestion de la voie maritime du Saint-Laurent [CGVMSL], 2020). Annuellement, plus de 5000 navires transitent sur le Saint-Laurent (Lewis, 2018; Plan d'action Saint-Laurent, 2017), donc 75 % proviennent ou se dirigent à l'international. Le 25 % restant correspond au transport domestique. Le transport maritime domestique représente les navires transportant de la marchandise d'un port canadien à un autre. (D'Arcy, Bibeault et Comité de concertation navigation, 2004; Gouvernement du Québec, 2020) L'essai s'applique aux navires commerciaux domestiques transportant de la marchandise dans la voie maritime du Saint-Laurent.

Malgré leur réputation ordinaire, les navires commerciaux se révèlent plus avantageux environnementalement par rapport aux transports routier, ferroviaire et aérien. En effet, un navire de taille adéquate aux écluses émet une quantité d'équivalents CO₂ par tonne de marchandise transportée inférieure à celle d'un camion et d'un train (Armateurs du Saint-Laurent, 2016). Le total annuel de marchandise manutentionnée sur la voie maritime du Saint-Laurent équivaut à 7,1 millions de trajets de camions (Armateurs du Saint-Laurent, 2013). Ainsi, il devient pertinent de miser sur l'industrie maritime et d'en optimiser les opérations.

Un des enjeux environnementaux des navires commerciaux est la gestion des matières résiduelles à bord. Historiquement, les matières résiduelles générées à bord des navires étaient jetées à la mer ou incinérées (Lutto, 2001). Le rejet en mer des matières résiduelles a été interdit de manière progressive à partir de 1988 par l'Organisation maritime internationale (OMI) (Organisation maritime internationale [OMI], 2019b). Les matières résiduelles doivent donc être traitées à bord ou entreposées jusqu'au déchargement à quai. Récemment, les armateurs ont démontré la volonté d'améliorer leurs pratiques de gestion des matières résiduelles par le choix de valoriser leurs matières organiques plutôt que de les envoyer à l'enfouissement (MeRLIN, 2019). Transport Desgagnés a d'ailleurs obtenu la première certification ICI on recycle + sur un navire en 2012 (Groupe Desgagnés, s.d.; Port de Montréal, 2013). Plusieurs technologies existent pour faciliter la gestion des matières résiduelles à bord des navires. Par contre, certaines d'entre elles inhibent le potentiel de valorisation des matières. Les armateurs ont donc besoin d'indications sur les modes de gestion des matières résiduelles à prioriser s'ils désirent valoriser celles-ci au lieu de les éliminer.

L'objectif principal de cet essai est de créer un outil décisionnel pour les armateurs permettant de sélectionner les modes de gestion et les voies de traitement des matières résiduelles produites à bord de navires commerciaux les plus avantageux environnementalement, socialement et économiquement selon l'approche des 3RV-E. Cinq objectifs spécifiques ont été établis afin d'atteindre l'objectif principal. En premier, les flux de matières résiduelles produites à bord des navires commerciaux seront identifiés. En deuxième, les différents modes de gestion des matières résiduelles possibles à bord des navires seront répertoriés. En troisième, les voies de traitement des matières résiduelles seront schématisées. En quatrième, une analyse de priorisation sera effectuée à partir des modes de gestion et des voies de traitement reliées. En cinquième, l'analyse de priorisation permettra de créer un outil décisionnel à l'intention des armateurs.

Les informations et les données présentées dans cet essai ont été obtenues à partir de sources de première et de deuxième main. D'abord, plusieurs collaborateurs ont offert leurs données de caractérisation de matières résiduelles à bord de navires commerciaux. Celles-ci ont permis d'établir la quantité des différents types de matières à traiter. Les modes de gestion et les voies de valorisation ont été cernés à l'aide d'une recherche documentaire d'auteurs crédibles. En effet, la plupart des documents ont été produits par des acteurs de l'industrie maritime tels des regroupements, des associations, des réseaux ou des fournisseurs. De cette manière, l'analyse tente de correspondre aux besoins et intérêts de l'industrie du transport maritime domestique au Québec.

La méthodologie de l'essai est basée sur deux analyses multicritères. La première concerne les modes de gestion et la deuxième inclut les voies de traitement. Chaque analyse comporte plusieurs critères d'évaluation couvrant les aspects sociaux, environnementaux, économiques et intégrant l'approche des 3RV-E. Chaque critère est mesuré par un système de classes associées à des cotes. De cette manière, les modes de gestion et les voies de valorisation obtiennent des pointages basés sur les critères. Après, divers scénarios de gestion des matières résiduelles sont établis en reliant un mode de gestion à une voie de valorisation. Un scénario se voit attribuer un pointage à partir de l'addition du pointage du mode de gestion et de la voie de valorisation. Les scénarios sont ensuite comparés à l'aide de leur pointage total dans l'analyse de priorisation. L'outil décisionnel est fondé sur cette analyse de priorisation.

L'essai débute par une mise en contexte établissant un portrait du transport maritime domestique au Québec. Ce portrait permet d'amener la problématique et les objectifs du travail. Par la suite, la méthodologie est expliquée en détail. Le chapitre suivant présente les flux des matières résiduelles produites à bord des navires commerciaux. Par après, les modes de gestion sont définis puis évalués à l'aide de la première analyse multicritère. L'introduction des voies de traitement et leur évaluation avec la deuxième analyse multicritère suivent au chapitre suivant. Ces deux analyses sont ensuite combinées à l'analyse de priorisation et la présentation de l'outil d'aide à la décision. Finalement, quelques recommandations sont offertes aux lecteurs.

1. MISE EN CONTEXTE

Le premier chapitre présente une mise en contexte s'amorçant par un portrait du transport maritime au Québec sur la voie maritime du Saint-Laurent et dans ses ports. Le sujet de la gestion des matières résiduelles dans l'industrie maritime sera ensuite abordé à travers une révision des pratiques actuelles et ses défis. Ceci permettra de comprendre et de justifier l'importance de la problématique et d'en comprendre la portée.

Cet essai a été réalisé en collaboration avec plusieurs parties prenantes de l'industrie maritime, notamment Canada Steamship Lines (CSL), Transport Desgagnés, Technopole maritime du Québec et MeRLIN.

1.1. Portrait du transport maritime au Québec

Au Québec, le transport maritime est reconnu comme un maillon essentiel d'une chaîne d'approvisionnement à grande échelle. Comme 90 % des biens quotidiens utilisés par les Québécois sont importés par voie maritime (Transport Canada, 2018), le transport maritime a une importance économique significative en importation et exportation, mais aussi en circulation interne de marchandises et de passagers. (Gouvernement du Québec, 2020). La voie maritime du Saint-Laurent ouvre le passage au cœur industriel nord-américain en offrant l'accès aux Grands Lacs, partagés entre le Canada et les États-Unis (SODES, 2015b). En effet, en assurant la manutention de leurs marchandises dans la chaîne d'approvisionnement, le transport maritime est indispensable à plusieurs industries comme les alumineries, les raffineries et les minières. Puisque ces industries sont souvent situées loin des grands centres, le transport maritime assure la liaison des matières premières aux centres industriels de transformation. (Pêches et Océans Canada, 2002). Pour accueillir le grand volume de marchandises, les ports jouent un rôle crucial puisqu'ils doivent offrir des infrastructures adaptées aux cargaisons variées.

1.1.1 La Voie maritime du Saint-Laurent

Le fleuve Saint-Laurent s'insère dans la voie maritime du corridor Saint-Laurent — Grands Lacs qui s'échelonne sur 3 700 km. Le corridor est composé d'une voie navigable du lac Supérieur en Ontario jusqu'à l'océan Atlantique. (CGVMSL, 2019; Plan d'action Saint-Laurent, 2017). Le fleuve lui-même s'étend sur 1 200 km et est segmenté en trois tronçons principaux (figure 1.1) :

- Le tronçon fluvial du lac Ontario jusqu'à l'île d'Orléans;
- L'estuaire de la pointe est de l'île d'Orléans (où l'eau devient salée) jusqu'à Pointe-des-Monts;
- Le golfe de Pointe-des-Monts sur la Côte-Nord jusqu'à l'île du Cap-Breton où débute l'océan Atlantique. (Plan d'action du Saint-Laurent, 2017; Stratégies Saint-Laurent, 2011)



Figure 1.1 Le système hydrographique du Saint-Laurent (tiré de : Groupe de travail Suivi de l'état du Saint-Laurent, 2014)

Le Saint-Laurent agit à titre de porte d'entrée au commerce et aux industries nord-américaines puisqu'il offre l'accès aux Grands Lacs (SODES, 2015b; Transport Canada, 2018). Le corridor Saint-Laurent — Grands Lacs, aussi appelé le réseau maritime de l'Est canadien, comprend les ports de l'Ontario, du Québec ainsi que des provinces maritimes. À eux seuls, ceux-ci manutentionnent les deux tiers du tonnage total des marchandises transportées par voie navigable au Canada. (Pêches et Océans Canada, 2002) En 2018, les ports canadiens ont manutentionné jusqu'à 324,1 millions de tonnes métriques (Mt) de marchandise (Transport Canada, 2018). Selon Pêches et Océans Canada (2002), les ports de la voie maritime du Saint-Laurent — Grands Lacs ont été responsables de 216 Mt d'entre elles. Plus précisément, les ports du Québec installés sur la voie maritime du Saint-Laurent en manipulent, entreposent et expédient environ 110 Mt par année (Plan d'action Saint-Laurent, 2017; SODES, 2015b).

Annuellement, plus de 5000 navires transitent sur le Saint-Laurent (Lewis, 2018; Plan d'action Saint-Laurent, 2017). En 2010, l'industrie maritime a contribué au produit intérieur brut (PIB) du Québec par 2,3 milliards \$ (Lewis, 2018; SODES, 2015b). Tout de même, le Saint-Laurent n'est pas qu'exclusivement utilisé par le transport maritime commercial. En effet, les autres activités et services présents sur la voie maritime se résument aux pêcheries, aux services de traversiers, aux croisières et aux embarcations de plaisance (Plan d'action Saint-Laurent, 2017). De plus, 45 % des Québécois s'approvisionnent en eau dans le fleuve (D'Arcy et al., 2004) et 60 % d'entre eux se prêtent à des activités reliées à celui-ci (Stratégies Saint-Laurent, 2011). Le Saint-Laurent a donc une importance économique et sociale bien présente au Québec.

Il y a deux types de transports de marchandises sur le Saint-Laurent : l'international et le domestique. Le transport maritime international regroupe les navires sortant ou entrant au Canada, alors que le transport

maritime domestique comprend les navires transbordant de la marchandise d'un port canadien à l'autre. Au Québec, le transport maritime international équivaut à 75 % des marchandises totales manutentionnées (D'Arcy et al., 2004; Gouvernement du Québec, 2020). Il est principalement constitué d'échanges avec l'Europe et les États-Unis. (Pêches et Océans Canada, 2002) Les voyages internationaux transportent majoritairement du minerai de fer, du blé et des céréales (Pêches et Océans Canada, 2002; Transports Québec, 2009). Le transport maritime domestique s'applique au contexte québécois lorsque celui-ci comporte au moins un port québécois (le deuxième étant canadien) (Gouvernement du Québec, 2020). Représentant 25 % du trafic maritime sur le Saint-Laurent, il transborde principalement du minerai de fer, de l'ilménite, des produits pétroliers ainsi que des céréales (Transports Québec, 2009).

Le transport maritime domestique est souvent associé au transport maritime de courte distance (TMCD). Le TMCD, aussi connu sous le nom de « cabotage », signifie une « expédition commerciale de marchandises ou le transport de passagers par voie maritime domestique ou internationale, en général opérant le long des côtes et dans les eaux intérieures sans traverser d'océan » (Armateurs du Saint-Laurent, 2016). Dans le cas du contexte québécois, le TMCD correspond à tout voyage d'un port québécois vers un port canadien ou américain. Ici, les ports américains sont compris puisque les Grands Lacs font partie de quelques États américains. Cependant, les navires effectuant du TMCD doivent impérativement être enregistrés au Canada. L'article 3 (1) de la *Loi sur le cabotage* stipule qu'« un navire étranger ou un navire non dédouané ne peut se livrer au cabotage ». Puisqu'il implique presque toujours d'autres modes de transport tels les transports routier et ferroviaire afin d'acheminer la marchandise du terminal jusqu'au destinataire, le TMCD est dit intermodal. Le TMCD s'applique à tous les types de cargaison : matières premières, vrac solide, vrac liquide, produits usinés, conteneurs et passagers. (Armateurs du Saint-Laurent, 2016)

1.1.2 Les ports

Au Canada, les ports tombent sous la juridiction fédérale. Tout de même, la Loi maritime du Canada confère la gestion de certains ports à des administrations portuaires canadiennes (APC). Les APC sont indépendantes du gouvernement fédéral et administrées par un conseil d'administration. La Loi maritime du Canada demande que les APC soient autonomes financièrement (art. 8 [1]). Elles fixent l'orientation stratégique et gèrent les activités commerciales du port. En plus d'être responsables de l'entretien des voies de navigations commerciales sur leur territoire, elles opèrent en tant que propriétaires du port auprès des exploitants privés effectuant des activités portuaires. Ces exploitants privés sont locataires de l'APC. (Transport Canada, 2019d) Au Québec, cinq APC régissent leur propre port (figure 1.2) :

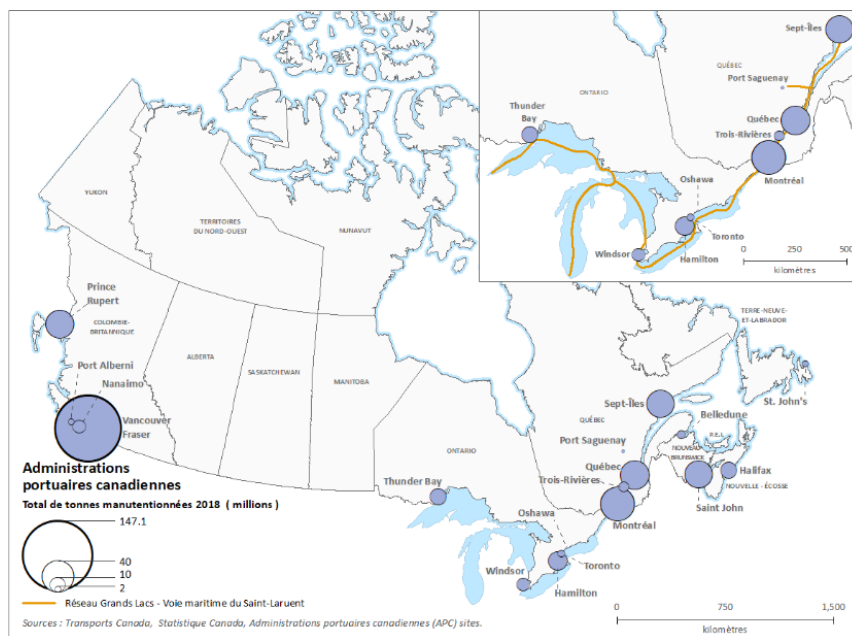


Figure 1.2 Administrations portuaires canadiennes et tonnes de marchandises manutentionnées en 2018 (tiré de : Transport Canada, 2019d)

- Administration portuaire de Montréal;
- Administration portuaire de Québec;
- Administration portuaire de Saguenay;
- Administration portuaire de Sept-Îles;
- Administration portuaire de Trois-Rivières. (Transport Canada, 2019d)

Transport Canada possède et opère 44 ports au Canada (Transport Canada, 2019d). D'autres ports peuvent être de propriété privée telles les installations portuaires de Port-Cartier appartenant à la compagnie minière Québec Cartier, ou publique (figure 1.3) (Pêches et Océans Canada, 2002; SODES, 2015b).

Les ports canadiens sont classifiés en trois catégories selon leurs caractéristiques techniques et leur importance économique : ports commerciaux nationaux, ports commerciaux complémentaires et ports d'intérêt local (D'Arcy et al., 2004). Le réseau québécois comprend 21 ports commerciaux, dont 11 ports commerciaux nationaux, 4 ports commerciaux complémentaires et 6 ports d'intérêt local. Ces ports québécois constituent le réseau portuaire stratégique commercial qui soutient le développement économique du Québec et ses régions (figure 1.3). (Gouvernement du Québec, 2020)



Figure 1.3 Réseau portuaire commercial stratégique du Québec (tiré de : SODES, 2015b)

Un port est composé d'un ou de plusieurs terminaux. Un terminal comprend des quais aménagés pour recevoir, manipuler et/ou entreposer un certain type de marchandise (Comité sectoriel de main-d'œuvre de l'industrie maritime [CSMOIM], 2011). Ces terminaux peuvent être gérés et opérés par le port ou loués à diverses personnes morales. Les locataires deviennent les opérateurs de leurs terminaux. Les opérateurs assurent le déplacement et l'entreposage de la marchandise chargée ou déchargée des navires. Ces terminaux sont adaptés à la marchandise qu'ils desservent. Ainsi, il existe des terminaux à conteneurs, à vrac solide, à vrac liquide ou à grains. (SODES, 2015b) Dans certains cas, l'adaptation s'étend au port en entier qui devient spécialisé (mais rarement exclusif) à un type de marchandise lorsque le port reçoit de forts tonnages de la même marchandise. Par exemple, le port de Montréal centre ses activités dans le transbordement de conteneurs tandis que le port de Québec est plutôt concentré vers les hydrocarbures et les vracs solides. (D'Arcy et al., 2004)

1.1.3 Les navires commerciaux du réseau Saint-Laurent – Grands Lacs

Le réseau Saint-Laurent — Grands Lacs est particulier par son parcours de 15 écluses du lac Érié jusqu'à Montréal. Chacune d'entre elles mesure 233,5 mètres de longueur et 24,4 mètres de largeur. (CGVMSL, 2020) Par conséquent, les navires pouvant naviguer sur le réseau doivent se limiter à ces dimensions, donc mesurent plutôt 222,5 mètres de longueur et 23,2 mètres de largeur (Administration de pilotage des Grands

Lacs, 2017). Trois grands groupes de navires se conforment aux dimensions de la voie maritime. En premier, les laquiers sont conçus spécialement pour le réseau Saint-Laurent – Grands Lacs, possédant les dimensions maximales permises par les écluses et maximisant la capacité de charge par rapport à ces dimensions. (Harbron, 2014) Les laquiers sortent rarement des Grands Lacs. (CGVMSL, 2020) En deuxième, les océaniques sont aussi conformes aux dimensions des écluses, mais sont construits de manière à faire des voyages internationaux, donc par la haute mer. En dernier, les remorqueurs-chaland regroupent les remorqueurs s'insérant à l'arrière d'un chaland pour le diriger. (CGVMSL, 2020) Un navire de taille moyenne correspond à un navire aux dimensions des écluses. Ce terme est souvent utilisé pour référer à un laquier. Les trois types de navires manutentionnent des céréales (ex. blé, maïs, soya), du vrac solide (ex. gravier, sable, sel, ciment), du vrac liquide (ex. hydrocarbures, éthanol), du minerai de fer et d'autres marchandises générales (CGVMSL, 2020). La Loi de 2001 sur la marine marchande du Canada désigne les navires comme un bâtiment (art. 2).

1.1.4 Introduction aux enjeux environnementaux des navires

La figure 1.4 présente tous les impacts environnementaux potentiels d'un navire commercial. Bien entendu, certains sont plus importants que d'autres. Cette section n'examine que quelques impacts environnementaux potentiels jugés importants par le programme de Prévention de la pollution du milieu marin par les navires du gouvernement fédéral (Transport Canada, 2019f).

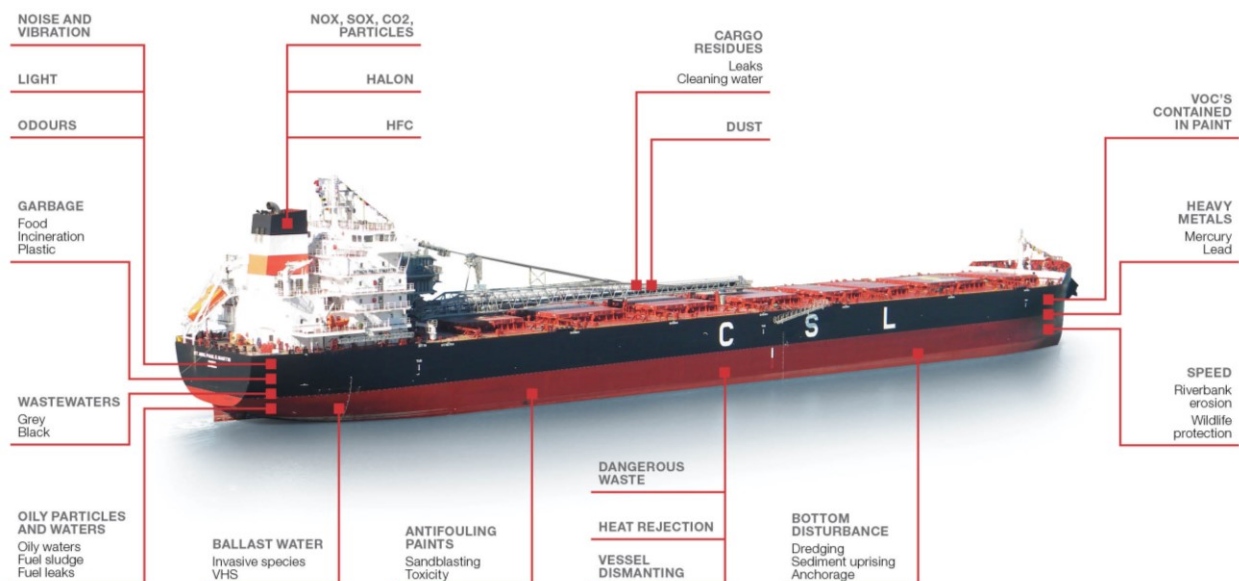


Figure 1.4 Impacts environnementaux potentiels des navires commerciaux (tiré de : CSL Group, 2018)

Premièrement, les navires commerciaux émettent des émissions atmosphériques polluantes agissant en tant que gaz à effet de serre (GES). Environ 11,9 g de GES par tonne métrique – kilomètre (g/TMk) sont émis par un navire (Armateurs du Saint-Laurent, 2016). L'oxyde d'azote (NO_x), l'oxyde de soufre (SO_x) et des particules (PM) sont les trois émissions contaminantes principales résultant du transport maritime. Ces

émissions contribuent au smog et aux pluies acides, en plus de causer des risques de santé. En comparaison aux modes de transport routier et ferroviaire, le transport maritime émet moins de NO_x, mais davantage de SO_x et de PM. Malgré tout, il émet une plus petite quantité de GES par tonne métrique – km que le transport routier (75,5 g/TMk) et le transport ferroviaire (14,2 g/TMk) (Armateurs du Saint-Laurent, 2016). (Research and Traffic Group, 2013) En complément, l'Organisation maritime internationale (OMI) a resserré la réglementation internationale en exigeant une limite de 0,5 % de soufre dans les carburants utilisés par les navires, en vigueur depuis le 1^{er} janvier 2020 (OMI, 2019c).

Deuxièmement, la peinture antisalissure des navires est connue pour sa teneur en tributylétain (TBT), un composé organostannique (Transport Canada, 2019g). La peinture est appliquée sur la coque des navires et empêche les mollusques et débris organiques marins de s'y loger réduisant l'hydrodynamisme du navire. Le tributylétain agit en biocide (Transport Canada, 2019g) et engendre le développement de caractères sexuels mâles chez les femelles de plusieurs espèces de mollusques, ce qui a pour conséquence de stériliser les populations (Transport Canada et al., 2007). Aujourd'hui, ce type de peinture n'est plus permis sur les navires canadiens (Transport Canada, 2019g). D'ailleurs, les navires du transport domestique et du TMCD n'ont pas nécessairement besoin de peinture antisalissure puisque les risques de contamination sont très faibles à cause des périodes de temps très courtes passées au port pour le chargement/déchargement, les alternances des opérations en eau fraîche, froide et salée et l'effet des glaces et des écluses sur la coque (égratignures de la coque) (courriel, C. Denis, 24 janvier 2020).

Troisièmement, la gestion des eaux de ballast crée un impact environnemental potentiel. L'eau de ballast est indispensable aux navires commerciaux. Celle-ci est pompée directement de la voie maritime et entreposée dans la cale du navire afin d'y ajouter du poids et d'en conserver la stabilité. L'eau de ballast est rejetée dans la voie maritime lorsqu'une cargaison est assez lourde pour conserver la stabilité du navire. (Port de Montréal, 2015) Elle risque l'intégrité écologique des voies maritimes puisqu'elle contient, la plupart du temps, des milliers d'organismes marins, des microbes, des plantes et des animaux qui seront vraisemblablement transportés avec le navire vers une autre destination. Ainsi, l'eau de ballast est un vecteur de déplacement et d'introduction pour les espèces envahissantes ou non indigènes. (OMI, 2019a; Transport Canada, 2019b) Pour contrer ce risque, Transport Canada et l'OMI ont mis en place plusieurs règles, dont le Règlement sur le contrôle et la gestion de l'eau de ballast et l'*International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments*. D'ici 2024, tous les navires se devront de posséder un système de traitement des eaux de ballast (OMI, s.d.), responsable d'éliminer les organismes contenus dans ceux-ci (SODES, 2015d). En 2015 au Canada, aucune espèce envahissante n'a été identifiée depuis 2006 (Port de Montréal, 2015).

Quatrièmement, les déversements accidentels d'eaux usées, de substances huileuses et d'hydrocarbures, bien que très peu fréquents et souvent en petite quantité, peuvent avoir des impacts environnementaux négatifs. Les eaux usées regroupent les eaux grises (eaux issues du lavage dans un lavabo, une douche

ou une laveuse) et les eaux noires (eaux issues des toilettes). Les eaux usées mal traitées et rejetées à l'eau peuvent occasionner une pollution bactérienne pouvant inclure des pathogènes, une croissance excessive d'algues et l'encrassement des branchies des organismes marins. (SODES, 2015c) La réglementation canadienne permet de rejeter les eaux usées seulement à la suite d'un traitement qui diminue leur teneur en microorganismes en deçà d'un certain seuil (Transport Canada, 2019a). En complément, les substances huileuses peuvent s'infiltrer dans l'eau de cale puis se retrouver dans la voie maritime. Les déversements de substances huileuses et d'hydrocarbures résultent d'accidents et sont habituellement de petits volumes. Le risque se trouve dans l'accumulation potentielle pouvant affecter la vie aquatique. (Transport Canada et al., 2007) Afin de prévenir la pollution par les hydrocarbures, les navires subissent régulièrement des inspections et obtiennent des certificats internationaux renouvelables de prévention de la pollution par les hydrocarbures (Transport Canada, 2019c). Dans le cas d'un déversement ou rejet accidentel, des équipes d'intervention sont prêtes à entrer en jeu dans tout le réseau maritime (Transport Canada et al., 2007).

Finalement, le dernier enjeu environnemental d'importance des navires est la gestion des matières résiduelles (Transport Canada, 2019f). Historiquement, toute matière résiduelle était jetée à la mer ou incinérée à bord des navires (Lutto, 2001). L'OMI a instauré l'arrêt des rejets de matières résiduelles de manière progressive en adoptant l'Annexe 5 de la Convention internationale pour la prévention de la pollution par les navires (MARPOL) en 1988. Les rejets de matières résiduelles peuvent être aussi néfastes que les rejets d'hydrocarbures et autres produits chimiques. En effet, les matières plastiques peuvent s'infiltrer dans la chaîne alimentaire. La faune marine est à risque de s'empêtrer dans les rejets solides des navires tels les cordages, filets et sacs plastiques. (OMI, 2019b) Les matières résiduelles des navires contiennent un haut niveau de bactéries dangereuses pour les écosystèmes marins (Comtois et Slack, 2005). Au Canada, le Règlement sur la prévention de la pollution par les navires et sur les produits chimiques dangereux inclut les exigences de MARPOL et s'applique sur tous les navires en eaux canadiennes et aux navires canadiens partout ailleurs (Transport Canada, 2019e). Ainsi, peu de rejets d'ordure en mer sont autorisés (voir 2. Contexte réglementaire). Pour les navires, ceci implique d'entreposer les matières résiduelles à bord durant leur voyage puis d'en disposer une fois accosté. L'entreposage des matières résiduelles entraîne plusieurs défis aux navires, notamment par le manque d'espace, les coûts opérationnels et la gestion des matières résiduelles au port. (MeRLIN, 2019) Cet essai se penche justement sur ces défis.

1.2. La problématique

Le transport maritime est un secteur encore bien méconnu, bien qu'il soit garant du transport de 90 % des biens mis en marché aujourd'hui (Fednav Limited, 2020; Plan d'action Saint-Laurent, 2017; Transport Canada, 2018). Comparé aux modes de transport routier et ferroviaire, le transport maritime est bien moins polluant. En effet, comme mentionné plus haut, un navire de taille moyenne émet 11,9 g/TMk

d'équivalent CO₂, alors qu'un camion en émet 75,5 g/TMk et un train 14,2 g/TMk (Armateurs du Saint-Laurent, 2016). Au Québec, le transport maritime n'est responsable que de 0,9 % des émissions GES du secteur des transports (SODES, 2015b). Non seulement le transport maritime émet une quantité de GES inférieure aux autres modes de transport, il est aussi beaucoup plus efficace. Selon l'étude Impacts environnementaux et sociaux du transport maritime dans la région des Grands Lacs et de la Voie maritime du Saint-Laurent réalisée en 2013 par le Research and Traffic Group, un navire de taille moyenne transborde l'équivalent de 301 wagons ou 963 camions. Le total annuel de marchandise manutentionnée sur le réseau des Grands Lacs — Saint-Laurent correspond à 7,1 millions de trajets de camions (Armateurs du Saint-Laurent, 2013). Le transport maritime est aussi moins bruyant, plus sécuritaire (possède un taux d'accidents avec blessés 58 fois plus bas que celui du transport routier et 14 fois plus bas que le transport ferroviaire) et contribue à réduire la congestion routière (Armateurs du Saint-Laurent, 2016; SODES, 2015b). Face à un bilan comme celui-ci, il est pertinent de miser sur l'industrie maritime et d'en optimiser davantage les opérations dans le but de réduire continuellement son empreinte écologique, d'autant qu'une augmentation du trafic sur la voie maritime du Saint-Laurent est prévue dans les prochaines années (Administration portuaire de Montréal, 2019, 21 mars; Comtois et Slack, 2005; SODES, 2015b). Dans cette optique, ce travail porte sur un enjeu environnemental des navires commerciaux : la gestion des matières résiduelles.

1.2.1 État de la situation en GMR à bord des navires

Depuis 2013, l'OMI interdit le rejet à la mer de toute ordure (avec plusieurs exceptions pour les déchets alimentaires, les résidus de cargaison, les additifs de nettoyage et les carcasses d'animaux) (Alliance verte, 2019). Le terme « ordure », ou matières résiduelles, est défini par l'OMI comme suit :

« Ordures signifie toutes les matières résiduelles alimentaires, domestiques et opérationnelles, tous plastiques, résidus de cargaison, cendres d'incinération, huile à cuisson, matériel de pêche, et carcasse d'animal, générés durant les opérations habituelles d'un navire et devant être éliminés continuellement ou périodiquement [...]. » (traduction libre de : OMI, 2011)

Par ailleurs, les réglementations canadiennes sur le réseau des Grands Lacs sont encore plus sévères : il n'est pas permis de rejeter quelque ordure dans les eaux de ceux-ci (Alliance verte, 2019a). Ainsi, les armateurs domestiques sont contraints d'entreprendre des moyens alternatifs de gestion de leurs matières résiduelles. Afin d'établir l'état actuel de la GMR sur les navires domestiques, les pratiques de GMR de certains armateurs sont présentées au-bas (tableau 1.1). Les armateurs domestiques ont été identifiés grâce au Bottin du TMCD des Armateurs du Saint-Laurent (ASL), une association représentant 14 armateurs domestiques transportant marchandises et passagers sur, mais non exclusivement, la voie maritime du Saint-Laurent (Armateurs du Saint-Laurent, 2018). Les exemples suivants n'englobent que les armateurs transportant des marchandises et présentant des informations de leur GMR dans leurs rapports de développement durable ou politique environnementale.

Tableau 1.1 Gestion des matières résiduelles à bord des navires de certains armateurs domestiques

(Algoma Central Corporation, 2011; Algoma Central Corporation, 2015; CSL Group, 2019a; Fednav Limited, 2020; Port de Montréal, 2013; Rochat, 2011, 20 octobre)

Armateurs	Gestion des matières résiduelles				
	Déchargement des déchets à terre	Déchargement des matières recyclables à terre	Déchargement des matières organiques à terre	Incinération des déchets	Déchargement de matières résiduelles autorisées en mer
Algoma Central Corporation (Algoma)	✓	✓	✓	✓	NS
Canada Steamship Lines (CSL)	✓	✓	✓	✓	X
Transport Desgagnés	✓	✓	✓	✓	NS
Fednav Limitée	✓	✓	✓	✓	✓

Légende :

✓ : moyen utilisé

X : moyen non utilisé

NS : Non spécifié dans les rapports de développement durable ou politique environnementale

Comme le tableau 1.1 le démontre, les armateurs domestiques entreposent leurs déchets, matières recyclables et matières organiques à bord de leurs navires et en disposent à terre. Certains navires utilisent un incinérateur pour brûler les déchets (non valorisable) et leurs résidus huileux. Fednav Limitée est le seul armateur connu (spécifié) à décharger des matières autorisées en mer, c'est-à-dire hors de la voie maritime du Saint-Laurent (Rochat, 2011, 20 octobre). Il s'agit d'une option possible pour ces navires puisqu'ils effectuent des voyages à l'international, contrairement à CSL par exemple. Tous les armateurs doivent produire un plan de gestion des matières résiduelles que de leurs équipages sont tenus de suivre, selon MARPOL (OMI, 2019b).

À bord, plusieurs équipements sont offerts pour faciliter la gestion des matières résiduelles. L'incinérateur en est un bon exemple. Ces équipements traitent les matières résiduelles physiquement ou chimiquement dans le but de réduire l'espace nécessaire à l'entreposage des matières résiduelles à bord et en éliminer les odeurs nauséabondes. Il est aussi tout à fait possible de gérer les matières résiduelles à bord sans équipement, soit seulement en entreposant les matières jusqu'à l'arrivée dans un port. Il existe donc plusieurs modes de gestion des matières résiduelles à bord.

Pour gérer leurs matières résiduelles à terre, les armateurs font appel à des entreprises offrant le service de collecte. Au Québec, Urgence Marine se charge de récupérer les matières résiduelles au port directement des navires accostés, puis les traite selon leur destination (centre de tri, site d'enfouissement technique, traitement de matières dangereuses, usine de biométhanisation) (Port de Montréal, 2012;

Rochat, 2011, 20 octobre; Urgence Marine inc., 2016). L'entreprise est basée et partenaire du Port de Montréal depuis 1979 (Port de Montréal, 2012).

En général, les armateurs domestiques démontrent le désir d'améliorer leurs pratiques dans le but de réduire leur empreinte écologique. Ceci est prouvé par le choix de valoriser les matières organiques plutôt que de les envoyer à l'enfouissement. (MeRLIN, 2019) Aussi, CSL travaille pour réduire son volume de déchets incinérés, limiter l'utilisation des incinérateurs et augmenter son taux de recyclage à 50 % du total de ses matières résiduelles d'ici 2030 (CSL Group, 2019a). Pour sa part, les efforts de recyclage de Transport Desgagnés ont été récompensés par Recyc-Québec qui a attribué son Attestation de performance (niveau 3) dans le cadre du programme ICI on recycle + au navire N/C Camilla Desgagnés en 2012 (Groupe Desgagnés, s.d.; Port de Montréal, 2013).

Les armateurs possèdent des ressources les encourageant à s'améliorer, notamment la certification environnementale de l'industrie maritime de l'Alliance verte. Ce programme mis sur pied en 2007 par plusieurs parties prenantes de l'industrie vise les armateurs, les ports, les voies maritimes, les terminaux et les chantiers maritimes. (Alliance verte, 2018) La certification évalue la performance environnementale des acteurs visés à l'aide de 12 indicateurs de rendement notés de niveaux un à cinq. Le niveau de base de chaque indicateur débute toujours par le respect de la réglementation, de cette façon les acteurs sont incités à aller au-delà de celle-ci. Un de ces indicateurs est la gestion des ordures et matières résiduelles. Chaque niveau suggère des mesures concrètes permettant de réduire les matières résiduelles à la source (ex : favoriser des fournisseurs qui utilisent moins d'emballages) et de se fixer des cibles de performance en vue d'une amélioration continue (Alliance verte, 2019b). Les acteurs s'engageant dans ce programme le font de manière volontaire. (Plan d'action Saint-Laurent, 2017; SODES, 2015b)

Au Québec, la Loi sur la qualité de l'environnement (art. 53.4.1) et la Politique québécoise de gestion des matières résiduelles incitent les organismes à gérer leurs matières résiduelles selon la hiérarchie des 3RV-E. Cette hiérarchie des 3RV-E est un modèle de priorisation des actions à prendre pour gérer les matières résiduelles. La suite d'actions établie par les 3RV-E offre l'ordre des actions à suivre : la réduction à la source, le réemploi, le recyclage, la valorisation et l'élimination. Comme les navires commerciaux sont considérés comme des bâtiments, la Politique s'applique à eux. La hiérarchie des 3RV-E est donc un concept à intégrer à la gestion des matières résiduelles à bord des navires.

1.2.2 Objectifs et portée

L'objectif de cet essai est de créer un outil décisionnel pour les armateurs permettant de sélectionner les modes de gestion et les voies de traitement des matières résiduelles produites à bord de navires commerciaux les plus avantageux environnementalement, socialement et économiquement selon l'approche de la hiérarchie des 3RV-E.

Pour y arriver, les objectifs spécifiques suivants ont été fixés :

1. Identifier les flux de matières résiduelles produites et/ou transportées par les navires commerciaux.
2. Répertorier les différentes technologies de traitement utilisées à bord des navires.
3. Schématiser les différentes voies de traitement possibles pour gérer les matières résiduelles des navires.
4. Relier la priorisation parmi les modes de gestion avec les voies de traitement des matières résiduelles traitées ou non en fonction des 3RV-E.
5. Créer un outil d'aide décisionnel pour déterminer le cheminement le plus avantageux environnementalement, socialement et économiquement pour les armateurs.

L'essai s'applique aux armateurs dont les navires sont enregistrés au Canada (flotte domestique) qui effectuent du TMCD au Québec sur la voie maritime du Saint-Laurent. Ainsi, les voyages des navires doivent commencer ou se terminer dans un port québécois. Les navires considérés seront toujours de taille moyenne (laquier), c'est-à-dire de taille maximale pour entrer dans les écluses du réseau Grands Lacs — Saint-Laurent. Seulement les flux des matières résiduelles provenant des aires de logement des navires (matières recyclables, matières organiques et déchets domestiques) seront analysés en raison des contraintes de temps liés à l'essai. Comme le port de Montréal est celui ayant le plus grand trafic maritime au Québec, les voies de traitement analysées seront dans la région de Montréal.

2. CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE

Au Canada, le transport maritime est davantage réglementé que les transports routier et ferroviaire (Armateurs du Saint-Laurent, 2016). Ce second chapitre présente les articles importants à la gestion des matières résiduelles de l'industrie maritime. Pour commencer, l'OMI est l'institution spécialisée dans les opérations maritimes des Nations Unies, responsable d'instaurer une réglementation de sécurité et de sûreté pour toutes les activités maritimes. Elle est d'ailleurs l'autorité mondiale en prévention de la pollution engendrée par ces activités. (OMI, 2020a) Afin de remplir son mandat, l'OMI a adopté la Convention internationale pour la prévention de la pollution par les navires (MARPOL) en 1973. MARPOL est régulièrement révisé et amendé, de sorte qu'il est toujours en vigueur aujourd'hui. (OMI, 2020b) L'Annexe 5 de la Convention porte strictement sur la gestion des ordures à bord des navires (OMI, 2019b). Au niveau fédéral, le gouvernement canadien a mis en place plusieurs lois régissant le transport maritime, telles la *Loi 2001 sur la marine marchande du Canada*, la Loi sur la sûreté du transport maritime, la Loi sur la protection des eaux navigables. (SODES, 2015b). Bien que le transport maritime et les ports relèvent du fédéral, le Saint-Laurent est tout de même protégé par quelques lois provinciales révisées dans ce chapitre.

2.1. MARPOL

L'Annexe 5 de MARPOL stipule que le rejet de toute ordure à la mer est interdit, à quelques exceptions. En effet, certaines matières résiduelles sont autorisées à être rejetées à la mer en fonction de l'emplacement du navire. Ces rejets sont limités aux résidus alimentaires, certains résidus de cargaison, les carcasses d'animaux et certains agents nettoyants. (OMI, 2018) Le résumé des décharges en mer de matières résiduelles autorisées se trouve à l'annexe 1. MARPOL a identifié quelques aires spéciales où la réglementation est plus sévère, mais la voie maritime du Saint-Laurent n'en fait pas partie. Les autres aires comprises sont plutôt les mers Méditerranée, Baltique, du Nord, l'aire de l'Antarctique et la région des Caraïbes. (OMI, 2020c). Pour la voie maritime du Saint-Laurent, MARPOL exige seulement que le plastique (spécifiquement les polychlorobiphényles [PCB] et dans certains cas les polychlorures de vinyle [PVC]), les cordes synthétiques, le matériel de pêche, les sacs plastiques, les cendres d'incinérateur, l'huile à cuisson, le fardage flottant, le matériel d'emballage, le papier, les chiffons, le verre, le métal, les bouteilles, la vaisselle et autres ordures similaires soient déchargés à quai (OMI, 2018). Généralement, les équipages ne sont pas formés pour reconnaître les différents types de plastique, dont le PCB, alors ils préfèrent n'incinérer aucun plastique (CE Delft et CHEW, 2017).

Tout de même, l'Annexe 5 de MARPOL recommande aux navires d'utiliser la décharge des ordures au port comme moyen de gestion des ordures à prioriser (*Annex 21 2017 Guidelines for the implementation of MARPOL Annex V*, art. 1,2). D'ailleurs, les gouvernements sont responsables d'offrir des infrastructures adéquates pour recevoir les ordures des navires et d'en promouvoir l'utilisation (*Annex 21 2017 Guidelines for the implementation of MARPOL Annex V*, art. 1,4). Il entre donc dans le mandat des Administrations portuaires canadiennes de recevoir tous les types d'ordures non jetables en mer. MARPOL décourage aussi

l'utilisation de l'incinérateur pour brûler les déchets dans les ports ou un terminal, mais réfère aux autorités portuaires pour savoir s'il s'agit d'une interdiction (*Annex 21 2017 Guidelines for the implementation of MARPOL Annex V*, art. 2.11.3).

2.2. Règlementation fédérale

La réglementation fédérale regroupe toutes les lois canadiennes référant à la gestion des matières résiduelles à bord des navires et la décharge des ordures à l'eau.

2.2.1 Loi canadienne sur la protection de l'environnement

Il est permis d'immerger des déchets dans le golfe du Saint-Laurent à l'est de l'île d'Anticosti (art. 122 [2 b]) après l'obtention d'un permis canadien (art. 125 [1]). Cependant, ce permis est obtenu seulement après avoir démontré qu'il n'existe aucune possibilité de réutiliser, de recycler ou de traiter sans risques excessifs pour la santé des êtres humains ou pour l'environnement ou sans frais disproportionnés les matières résiduelles à immerger (Annexe 6, art. 6). Selon la hiérarchie de priorisation, l'évacuation à terre vient d'abord, avant l'évacuation dans l'eau (Annexe 6, art. 5e). Il semble non avantageux d'immerger le peu de matières autorisées par MARPOL à l'est de l'île d'Anticosti pour les armateurs domestiques, surtout sachant que les ports se doivent d'offrir des infrastructures pour recevoir celles-ci. Par contre, il est possible d'incinérer les déchets produits à bord à l'est de l'île d'Anticosti, encore une fois avec le permis approprié (art. 126 [1]). (*Loi canadienne sur la protection de l'environnement [1999]*)

2.2.2 Loi sur les eaux navigables

Selon la *Loi sur les eaux navigables*, il est interdit de rejeter tout déchet flottant (ex. sciures, rognures, écorces) susceptible de gêner la navigation dans les eaux navigables ou qui se déversent dans des eaux navigables (art. 21). De plus, il est interdit de rejeter toute ordure submersible (ex. pierre, gravier, terre, cendre) dans ces eaux ayant une profondeur continue inférieure à 36 m (art. 22 [1]).

2.2.3 Loi de 2001 sur la marine marchande du Canada

La Loi de 2001 sur la marine marchande du Canada est la loi habilitante du Règlement sur la pollution par les bâtiments et sur les produits chimiques dangereux. Elle précise qu'il est interdit pour un navire de rejeter un polluant défini par règlements, à moins que ce soit fait en conformité avec ceux-ci (art. 187).

2.2.4 Règlement sur la pollution par les bâtiments et sur les produits chimiques dangereux

Le Règlement sur la pollution par les bâtiments et sur les produits chimiques dangereux regroupe les éléments les plus importants de la réglementation fédérale. Il est possible de rejeter des ordures autres que des matières plastiques aussi loin que possible de la terre la plus proche ou à une distance d'au moins 12 nm à partir de la terre la plus proche (parfois encore plus loin selon le type d'ordure) dans les eaux

extérieures canadiennes (art. 101 [1]). La voie maritime du Saint-Laurent est considérée comme une eau intérieure canadienne (art. 1 [1]). Par conséquent, il est interdit de rejeter des ordures dans la voie maritime du Saint-Laurent (Transport Canada, 2019e). Néanmoins, il est possible de rejeter des résidus de cargaison dans le fleuve Saint-Laurent à condition que le navire soit en route et à une certaine distance de la terre la plus proche selon le tronçon du Saint-Laurent sur lequel le navire se trouve (art. 102 [1]).

En addition, chaque navire certifié pour transporter 15 personnes ou plus doit avoir à bord un plan de gestion des ordures suivant le modèle de l'Annexe 5 de MARPOL (art. 104 [1]), ainsi qu'un registre des ordures suivant aussi le modèle de l'Annexe 5 (art. 105 [1]). De plus, le règlement donne l'interdiction d'incinérer les matériaux suivants : les résidus de cargaison d'hydrocarbure, de substances liquides nocives ou de polluants marins, du biphényle polychloré, des ordures contenant plus que des traces de métaux lourds, des produits pétroliers raffinés contenant des composés halogénés, des boues d'épuration et d'hydrocarbures non produites à bord du bâtiment et les résidus du dispositif d'épuration des gaz d'échappement (art. 113). (*Règlement sur la pollution par les bâtiments et sur les produits chimiques dangereux*)

2.2.5 Directive relative aux déchets internationaux

La Directive relative aux déchets internationaux est mise en place par l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA) dans le but d'empêcher l'introduction de maladies ou d'espèce exotiques. Elle est habilitée par la Loi sur la santé des animaux, le Règlement sur la santé des animaux, la Loi sur la protection des végétaux et le Règlement sur la protection des végétaux. Les déchets internationaux (DI) représentent les ordures des navires au Canada en provenance de l'étranger. En vertu de la Directive, les DI peuvent être déchargés au Canada dans le seul but d'être éliminés. Toutefois, la Directive ne s'applique pas sur les navires en provenance des États-Unis. (Agence canadienne d'inspection des aliments, 2012)

Ceci signifie que seules les ordures du transport domestique et TMCD peuvent être réutilisées, recyclées ou valorisées, d'où la portée de l'essai excluant les voyages internationaux.

2.2.6 Accord relatif à la qualité de l'eau des Grands Lacs de 2012

L'Accord relatif à la qualité de l'eau des Grands Lacs de 2012 est un accord entre le Gouvernement du Canada et le Gouvernement des États-Unis visant à favoriser la collaboration des deux parties pour restaurer et maintenir l'intégrité chimique, physique et biologique des écosystèmes marins des Grands Lacs (art. 2 [1]). Selon l'Accord, l'eau des Grands Lacs inclut toutes les eaux en amont à partir du point où le fleuve Saint-Laurent devient une frontière internationale entre le Canada et les États-Unis (art. 1 j). L'Annexe 5 de l'Accord stipule que tout rejet d'ordure est interdit (à l'exception de résidus de cargaison) (Annexe 5, B [2A]). L'Accord entend qu'« ordures » signifie les résidus alimentaires, déchets ménagers et d'exploitation, les matières plastiques, les résidus de cargaison, l'huile à cuisson, le matériel de pêche et

les carcasses animales. Les ordures sont produites durant les activités normales du navire. (Annexe 5, D [5]). (Gouvernement du Canada et Gouvernement des États-Unis d'Amérique, 2012)

2.3. Politique québécoise de gestion des matières résiduelles

Comme les matières résiduelles sont déchargées sur le territoire québécois, elles comptent parmi les matières résiduelles concernées par la Politique québécoise de gestion des matières résiduelles et la Loi sur la qualité de l'environnement.

L'article 53.4 de la Loi sur la qualité de l'environnement habilite la Politique québécoise de gestion des matières résiduelles. La loi demande de prioriser dans cet ordre : le réemploi, le recyclage, la valorisation, la valorisation énergétique et l'élimination (art. 53.4.1). La Politique s'applique à l'ensemble des matières résiduelles générées au Québec, ce qui inclut les matières résiduelles du transport maritime. Elle s'applique également aux industries, commerces et institutions (ICI) dont les ports font partie (MeRLIN, 2019). Donc, les navires et les ports doivent respecter les objectifs et orientations de la Politique, notamment la diminution de la quantité de matières résiduelles à éliminer, jusqu'à l'élimination totale des résidus ultimes. (*Politique québécoise de gestion des matières résiduelles*) Si utilisé, l'outil décisionnel résultant de l'analyse de l'essai permettra aux armateurs domestiques et aux ports de contribuer à l'atteinte des objectifs québécois de la Politique.

2.4. Synthèse du contexte réglementaire

Les éléments importants à retenir du contexte réglementaire sur la gestion des matières résiduelles à bord des navires commerciaux sont résumés au tableau 2.1.

Tableau 2.1 Aperçu des autorisations et interdictions de gestion des matières résiduelles à bord d'un navire sur la voie maritime du Saint-Laurent

Modes de gestion des matières résiduelles réglementés	Statut	Conditions	Règlementation
Rejet de matières résiduelles dans la voie maritime du Saint-Laurent	X		Règlement sur la pollution par les bâtiments et sur les produits chimiques dangereux et Accord relatif à la qualité de l'eau des Grands Lacs 2012
Rejet de résidus de cargaison dans la voie maritime du Saint-Laurent	✓	En route, à 6 nm de la terre la plus proche lorsqu'à l'est des Escoumins	Règlement sur la pollution par les bâtiments et sur les produits chimiques dangereux et Accord relatif à la qualité de l'eau des Grands Lacs 2012
Valorisation des matières résiduelles d'un navire domestique	✓		Politique québécoise de gestion des matières résiduelles
Valorisation des matières résiduelles d'un navire non domestique	X		Directive relative aux déchets internationaux
Incinération des déchets à bord	✓	Découragé dans les ports et terminaux (MARPOL)	Règlement sur la pollution par les bâtiments et sur les produits chimiques dangereux
Incinération de matières plastiques à bord	X		Règlement sur la pollution par les bâtiments et sur les produits chimiques dangereux

Légende :

✓ : Autorisé

X : Non autorisé

3. MÉTHODOLOGIE

Les informations partagées dans cet essai ont été recueillies à l'aide d'une recherche documentaire non exhaustive et auprès de différents collaborateurs. La recherche documentaire a été réalisée à partir de quelques banques de données et moteurs de recherche : *Scopus*, *ScienceDirect* et *Google (Scholar)*. Une recherche a été effectuée pour chaque chapitre avec des mots-clés adaptés. Les recherches documentaires et documentations des collaborateurs ont servi à établir le portrait des flux de matières résiduelles à bord des navires commerciaux domestiques, ainsi qu'à créer la base des analyses multicritères suivantes.

Deux analyses multicritères sans pondération ont été réalisées afin d'évaluer les modes de gestion des matières résiduelles à bord des navires et les voies de valorisation de ces matières résiduelles traitées ou non traitées. Les analyses ont ensuite été combinées en une analyse de priorisation sans et avec pondération servant de base à l'outil décisionnel. Les critères établis pour chaque analyse sont présentés dans les sections suivantes. Ceux-ci incluent les trois sphères du développement durable : social, économique et environnemental. Ils incluent aussi l'approche des 3RV-E. Les critères ont été choisis en prenant en compte le contexte du transport maritime domestique et du TMCD sur la voie maritime du Saint-Laurent établi dans les sections précédentes. En addition, les critères sont inspirés de deux rapports d'évaluation de technologies et scénarios effectués par des firmes spécialisées dans la région de Montréal (Dessau-Soprin inc., 2006; SNC-Lavalin, Solinov et CIRAIG, 2007).

Afin de compléter une analyse uniforme, quelques suppositions ont été posées :

- 1- Les navires de taille moyenne (laquier) ont un équipage moyen de 21 personnes (CSL Group, 2019b).
- 2- Ce sont les matelots de pont qui manipulent les matières résiduelles et qui mettent en marche les technologies de traitement à bord.
- 3- Les navires sont en service tous les jours.
- 4- Les navires ont un taux fixe de production de matières résiduelles par jour. Ce taux est présenté au chapitre 4.
- 5- Un navire atteint sa capacité d'entreposage maximale de matières résiduelles après 12 jours.
- 6- Les flux des matières résiduelles sont triés à bord et n'ont aucune contamination d'autres matières.

3.1. Analyse des modes de gestion

Les modes de gestion correspondent aux procédures de manipulation des matières résiduelles à bord des navires. Ceux-ci incluent l'entreposage des matières résiduelles et les traitements physiques et chimiques à bord. Chaque mode de gestion a été évalué à l'aide de cinq critères couvrant des aspects sociaux, économiques et environnementaux, ainsi que les 3RV-E. Les critères sont mesurés avec cinq classes. Les

classes ont été déterminées une fois que toutes les données ont été recueillies. Les critères et leurs classes de l'analyse des modes de gestion sont présentés au tableau 3.1.

Tableau 3.1 Critères d'évaluation des modes de gestion à bord des navires

DD	Critère	Définition	Classes	Cote
Social	Risques pour la santé et sécurité	Les risques pour la santé et la sécurité pour les équipages à bord des navires qui doivent mettre en œuvre les modes de gestion. Les risques incluent les fumées toxiques, les coupures, les contaminations infectieuses et les odeurs inconfortables. (Dessau-Soprin inc, 2006; Lutto, 2001; World Health Sanitation [WHO], 2011)	Pointage : 18 ou plus	1
			Pointage : 16 à 17	2
			Pointage : 14 à 15	3
			Pointage : 12 à 13	4
			Pointage : 10 à 11	5
Technique	Économie d'espace à bord	L'espace limité à bord des navires de la voie maritime du Saint-Laurent complique la gestion des matières résiduelles à bord (MeRLIN, 2019). Ainsi, les modes de gestion les plus avantageux réduisent l'espace nécessaire à l'entreposage des matières.	< 0 %	1
			0 %	2
			1 à 25 %	3
			26 à 50 %	4
			≥ 51 %	5
Économique	Coûts associés sur 5 ans	Les avantages économiques sont une priorité pour les entreprises privées. Les modes de gestion doivent être avantageux en diminuant les frais associés au transport des matières (Lourenço Sanches, et al., 2019) vs l'investissement effectué par l'achat d'équipement.	250 000,01\$ et plus	1
			Entre 200 000,01 \$ et 250 000,00 \$	2
			Entre 180 000,01 \$ et 200 000,00 \$	3
			Entre 160 000,01 \$ et 180 000,00 \$	4
			160 000,00 \$ et moins	5
3RV-E	Potentiel de valorisation	Selon la hiérarchie des 3RV-E, une matière a avantage à être valorisée, plutôt qu'à être éliminée. Ainsi, les finalités des modes de gestion doivent pouvoir servir à au moins une voie de valorisation (ou de recyclage). La finalité a plus de valeur lorsqu'elle a plusieurs voies de valorisation que lorsqu'elle n'est destinée qu'à l'élimination.	Pointage : 1 à 8 points	1
			Pointage : 9 à 17 points	2
			Pointage : 18 à 26 points	3
			Pointage : 27 à 35 points	4
			Pointage : 36 points et plus	5
Environnemental	Impact environnemental du mode de gestion	Les impacts environnementaux seront limités à l'estimé des émissions atmosphériques en équivalent CO ₂ produites par le mode de gestion à bord (MELCC, 2019a; SNC-Lavalin et al., 2007), que ce soit par l'utilisation d'énergie ou par le mode de gestion lui-même.	2 001 kg d'éCO ₂ et plus	1
			Entre 1 001 et 2 000 kg d'éCO ₂	2
			Entre 101 et 1 000 kg d'éCO ₂	3
			Entre 1 et 100 kg d'éCO ₂	4
			Aucune émission d'éCO ₂	5

Les risques pour la santé et sécurité s'appliquent aux matelots de pont. Ceux-ci sont évalués à l'aide de deux International Hazard Datasheet on Occupation développés par l'Organisation internationale du travail (OIT). L'OIT est une agence relevant des Nations Unies qui établit des standards internationaux et des politiques favorisant un travail décent pour tous (Organisation internationale du travail [OIT], 2020). Ces fiches techniques offrent de l'information sur les risques et leur prévention liés à un emploi spécifique et

visent les professionnels. L'OIT a rédigé une fiche technique pour les marins et une autre pour les opérateurs d'incinérateur (OIT, 2012a; OIT, 2012 b). Les risques relevés pour ces deux activités ont été combinés, dans un tableau à l'annexe 3. Les risques n'ayant aucun lien avec la gestion des matières résiduelles à bord (ex. une chute à partir de la structure du navire sur le pont) ont été retirés du tableau afin de l'alléger (seuls les risques associés à au moins un mode de gestion restent dans le tableau). Le tableau a été utilisé pour chaque mode de gestion. Lorsqu'un risque s'applique à la mise en œuvre du mode de gestion, il a été comptabilisé. Chaque risque ayant un moyen de prévention associé vaut un point, alors qu'un risque sans moyen de prévention en vaut deux. Un des risques présents mentionne le risque de décharge électrique par un appareil défectueux. Il a été tenu pour acquis que tous les modes de gestion alimentés à l'électricité comportent ce risque. Les totaux ont été utilisés pour établir les classes, donc évaluer le critère.

L'économie d'espace à bord du navire est basée sur le volume total des matières résiduelles produites. Le chapitre 4 offre des données provenant d'armateurs domestiques canadiens et de la littérature offrant la quantité de chaque type de matières résiduelles produites en volume par personne par jour. Ces volumes ont été extrapolés pour un équipage moyen par jour. D'un autre côté, chaque mode de gestion a un ratio de matière non traitée à la matière traitée. Ainsi, l'économie d'espace à bord est mesurée par le volume total des matières résiduelles diminué en utilisant le ratio des modes de gestion. Les classes du critère sont définies en pourcentage d'économie d'espace.

Les coûts associés sur 5 ans permettent de comparer les investissements (et leurs retours) avec les modes de gestion n'en ayant aucun. En effet, l'entreposage ne requiert aucun investissement de départ, mais comporte des coûts de location d'équipement (cages et bacs) pour entreposer les matières résiduelles, en plus des coûts de transport et gestion de celles-ci une fois au quai. Les technologies de traitement à bord nécessitent plutôt un investissement lors de leur achat, mais offrent une réduction des frais associés à la location d'équipement d'entreposage, de déplacement et de gestion. Pour calculer les coûts, les volumes de différentes matières sont associés aux tarifs payés par une compagnie d'armateur. Le calcul des coûts, incluant les tarifs utilisés, se trouve à l'annexe 4. Les prix d'achat des technologies (sans taxe), le coût de la consommation énergétique du mode ainsi que les économies d'espace sont pris en compte pour chacun. Comme certains modes de traitement proviennent de fabricants localisés à l'extérieur de l'Amérique du Nord, les coûts d'achats ont été trouvés à partir de différentes sources internet. Les coûts associés sont évalués sur 5 ans afin d'observer un potentiel retour sur investissement des technologies. Il est donc tenu pour acquis que tous les modes de gestion ont une durée de vie d'au moins 5 ans. Plus difficile à obtenir, le prix de l'installation des équipements (main-d'œuvre) et de leur maintenance n'est pas tenu en compte.

Le potentiel de valorisation s'associe à l'analyse des voies de traitement. Il s'agit du nombre d'options existantes où envoyer les différentes finalités près du port de Montréal. Une recherche non exhaustive basée sur la cartographie des acteurs de l'économie circulaire de Montréal (Scherrer et al., 2017) a été

réalisée pour trouver des débouchées pour les finalités des modes de gestion. Chaque voie de traitement a été hiérarchisée selon son niveau des 3RV-E. Un système de pointage a été élaboré afin d'évaluer le potentiel de valorisation. Chaque finalité a été associée à toutes les voies de traitement possibles. Chaque voie de traitement s'est vue attribuer une note (élimination=1; valorisation=2; recyclage=3). Les notes des voies associées à une même finalité ont été additionnées pour former le pointage final. Le pointage final a été utilisé pour attribuer une cote et une classe au potentiel de valorisation de chaque finalité. Une synthèse des voies de traitement est présentée à l'annexe 5. En addition à cette synthèse, un extra 2 points a été accordé aux finalités qui récupèrent de l'énergie lors de leur production afin de refléter une valorisation additionnelle exclue de l'analyse des voies de traitement (ex. biochar et scories).

L'impact environnemental des modes de gestion à bord est mesuré avec la quantité d'émissions atmosphériques en équivalent CO₂ (éCO₂) relâchée par l'appareil (émissions directes) et par sa consommation d'énergie (émissions indirectes) en 12 jours. Cette quantité est estimée à l'aide du Guide de quantification des émissions de gaz à effet de serre du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) (2019a). Les équations, facteurs d'émissions et potentiels de réchauffement climatique proviennent du guide, eux-mêmes tirés du 4^e rapport (2007) du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Pour certains modes de gestion, les émissions atmosphériques sont fournies par leur fabricant. Les émissions directes d'un mode de gestion sont présentées par contributeurs directs aux GES atmosphériques et contributeurs indirects aux GES atmosphériques. Les contributeurs directs correspondent aux gaz à effet de serre les plus répandus pouvant être émis par un mode de gestion : CO₂, CH₄ et N₂O. Le CO₂ biogénique n'est pas inclus dans l'analyse comme il doit être séparé des émissions non biogéniques (Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques [MELCC], 2019a) et qu'il risque d'être similaire pour chaque mode de gestion traitant les matières organiques, n'ayant donc pas d'influence sur le résultat du critère. Quant à eux, les contributeurs indirects représentent plutôt les substances émises par un mode de gestion qui ne sont pas elles-mêmes un GES, mais interagissent avec différents composés présents dans l'atmosphère ayant pour conséquence d'accroître l'effet de serre. Les oxydes d'azote (NO_x) et le monoxyde de carbone (CO) sont les deux contributeurs indirects potentiels. Les potentiels de réchauffement climatique des contributeurs indirects ont été estimés par le GIEC (2007). Dans le cas des NO_x, aucune valeur précise n'est offerte, mais huit études sont présentées avec différentes valeurs de potentiels de réchauffement climatique. La moyenne de celles-ci a été utilisée dans les calculs de l'essai.

Les moteurs auxiliaires d'un navire produisent l'électricité nécessaire aux appareils à bord et, par le fait même, les émissions indirectes. Les moteurs consomment 0,210 kg de carburant (mazout lourd) par kilowattheure (kWh) (WWF Canada, 2018), soit 0,212 L/kWh avec une densité de 993 g/L (Statistique Canada, 2012). Le facteur d'émission de la combustion du mazout lourd provient du MELCC (2019a), soit 3 188 g éCO₂/L. Le MELCC utilise les facteurs d'émissions utilisés par le Rapport d'inventaire national

(2019) provenant du GIEC (2006). Il est à noter qu'une incertitude de $\pm 15\%$ est attribuée aux calculs et que les quantités de GES obtenues sont des estimées.

3.2. Analyse des voies de traitement

Les voies de traitement correspondent aux destinations possibles des matières résiduelles les recyclant, les valorisant ou les éliminant. De manière similaire qu'avec les modes de gestion, les voies de traitement sont évaluées avec quatre critères touchant aux aspects techniques, environnementaux et aux 3RV-E. Dans le cas des voies de traitement, les coûts associés ne sont pas évalués. En effet, il est pris pour acquis que les prix du sous-traitant de CSL couvrent déjà le transport et traitement des matières résiduelles dans leur voie respective, il ne serait donc pas pertinent de rechercher d'autres tarifs de service et de les comparer. Les critères et leurs classes sont présentés au tableau 3.2. Les références citées dans le tableau correspondent aux documents qui ont inspiré chaque critère.

Tableau 3.2 Critères d'évaluation des voies de traitement

DD	Critère	Définition	Classes	Cote
Technique	Faisabilité	Certaines voies de valorisation nécessitent d'effectuer un triage supérieur à celui généralement effectué à bord des navires. Ce critère s'intéresse à la facilité de trier et entreposer les matières qui rendent la voie de valorisation possible. (SNC-Lavalin et al., 2007)	Triage supplémentaire obligatoire Formation nécessaire	1
			Triage supplémentaire obligatoire Aucune formation nécessaire	3
			Aucun triage supplémentaire	5
	Accessibilité	Les voies de traitement doivent être accessibles à partir du port de Montréal. Celles-ci doivent donc se situer sur l'île de Montréal pour être qualifiées d'accessibles. La proximité physique des voies de traitement réduit la durée du transport des matières et donc les émissions atmosphériques liées à celui-ci.	Pointage : 0 à 0,8	1
			Pointage : 0,9 à 1,7	2
			Pointage : 1,6 à 2,4	3
			Pointage : 2,5 à 3,3	4
			Pointage : 3,4 et plus	5
Environnement	Impacts environnementaux	Les impacts environnementaux des voies de traitements sont étudiés selon une approche de cycle de vie des matières résiduelles et des extrants des voies de traitement (ICF Consulting, 2005)	1 t éCO_2 et plus	1
			Entre 0 et 0,999 t éCO_2	2
			Entre -1 et -0,001 t éCO_2	3
			Entre -2 et -1,001 t éCO_2	4
			-2,001 et moins t éCO_2	5
3RV-E	Priorisation selon les 3RV-E	La <i>Loi sur la qualité de l'environnement</i> (art. 53.4.1) et la <i>Politique québécoise de gestion des matières résiduelles</i> du gouvernement demande de suivre la hiérarchie des 3RV-E. Pour intégrer le concept dans l'analyse, chaque voie de valorisation sera classée selon son niveau des 3RV-E.	Élimination	1
			Valorisation	3
			Recyclage	5

Le critère de la faisabilité inclut un aspect réaliste dans l'analyse. Celle-ci sera mesurée en fonction du triage préalable des matières résiduelles à faire à bord du navire. Généralement, les matières résiduelles à bord des navires sont triées en quatre voies : matières organiques, déchets domestiques, papier et carton et plastique, verre et métaux recyclables (CSL, 2019c). Certaines voies de traitement demandent de trier

davantage les matières, notamment si elles ne s'occupent que d'un seul type de matière. Ainsi, ce critère est mesuré de manière binaire. Ces deux questions (figure 3.1) devront être répondues par oui ou par non.

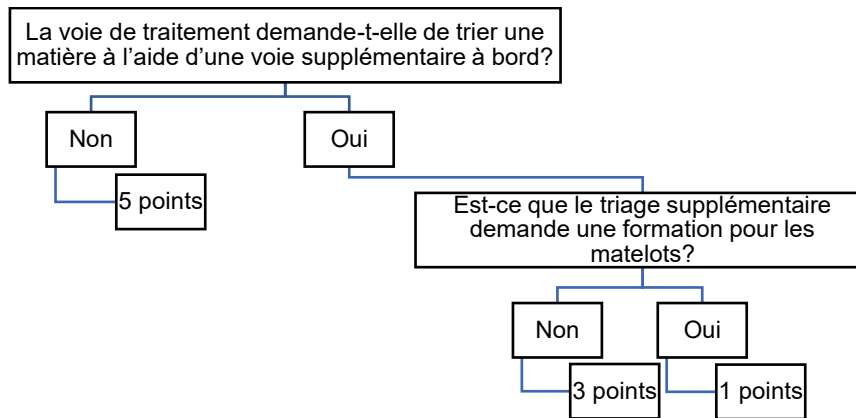


Figure 3.1 Faisabilité des voies de traitement

Les classes sont déterminées selon les réponses à ces questions. Une formation au triage supplémentaire est nécessaire lorsque le triage de la nouvelle matière n'est pas intuitif chez les Québécois. À titre d'exemple, la consigne des canettes d'aluminium est imprégnée dans la culture québécoise, il n'est donc pas nécessaire de former les matelots à ce triage supplémentaire.

Le second critère technique s'attarde à l'accessibilité des voies de traitement. Certaines voies seront inaccessibles à partir du port de Montréal. Par exemple, la voie de l'incinération ne peut pas être réalisée à partir du port de Montréal puisque seule la ville de Québec possède un incinérateur fonctionnel (Cliche, 2015, 5 décembre). Ainsi, seules les voies de traitement présentes sur l'île de Montréal sont incluses dans l'analyse. Les traitements en voie de devenir accessibles (ex. usines de biométhanisation en construction en 2020) sont aussi considérés. Un système de pointage basé sur la distance des sites du port de Montréal a été établi afin de définir les classes du critère. Un rayon de 10 km du terminal de vrac solide Viterro a été dessiné sur MyMaps (figure 3.2). Le terminal de vrac solide a été sélectionné comme le point central du rayon puisqu'il s'agit du terminal principal utilisé par CSL. Les sites de traitement dans ce rayon obtiennent un pointage de deux, alors que les sites sur l'île de Montréal à l'extérieur du rayon obtiennent un point. Les sites en construction en 2020 à l'intérieur du rayon obtiennent 0,5 point, alors que les sites en construction à l'extérieur du rayon obtiennent 0,3 point. L'évaluation de l'accessibilité par la distance intègre la notion des GES liés au transport des matières résiduelles : plus la voie de traitement est loin, plus de GES sont émis lors du transport.

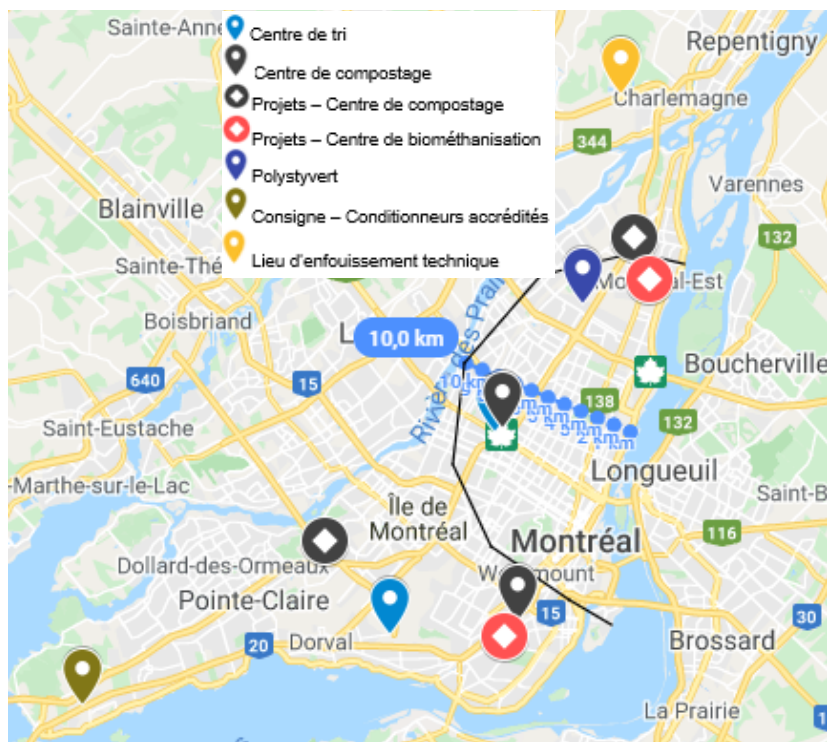


Figure 3.2 Emplacement des voies de traitement sur l'île de Montréal

Les impacts environnementaux sont mesurés en termes d'équivalent CO₂ des émissions atmosphériques des voies de traitement. Les données en équivalent CO₂ par tonne de matières résiduelles ont été tirées de l'Analyse des effets des activités de gestion des matières résiduelles sur les émissions de gaz à effet de serre d'ICF Consulting (2005). Dans celle-ci, les voies de traitement des matières résiduelles (recyclage, compostage, digestion anaérobie, enfouissement et incinération) sont comparées en termes d'émission de gaz à effet de serre. Chaque matière est analysée selon tous les types de voies de traitement correspondantes. L'analyse est basée sur le cycle de vie de chaque matière. Les émissions de GES du cycle de vie de la matière, incluant les émissions liées à la consommation d'énergie lors de l'extraction des matières, fabrication des produits, gestion des produits à leur fin de vie et le transport des matériaux, et les émissions GES économisées par les services d'électricité applicables aux matières résiduelles et le remplacement d'intrants vierges sur le marché sont comptabilisées en une émission GES nette par matière par voie de traitement. (ICF Consulting, 2005) Les émissions GES nettes sont présentées à l'annexe 6. Ces valeurs sont utilisées pour mesurer ce critère. Certaines d'entre elles sont négatives; ceci s'explique par les émissions GES économisées étant plus grandes que les produites au courant du cycle de vie de la matière.

Puisqu'il s'agit ultimement d'une analyse de priorisation, la hiérarchie des 3RV-E est intégrée à celle-ci avec le dernier critère : priorisation selon les 3RV-E. Chaque voie de traitement est associée avec le niveau des 3RV-E auquel elle se trouve. Ainsi, les voies de traitement les plus hautes dans la hiérarchie sont avantagées (c.-à-d. voies de recyclage et voies de valorisation). La réduction à la source et le réemploi ne

font pas partie des classes puisqu'aucune voie de traitement ne correspond à ces niveaux de hiérarchie. La définition utilisée pour classer les voies de traitement est tirée d'Olivier (2016) :

- Recyclage : Utilisation d'une matière secondaire dans le procédé manufacturier dont il est issu, en remplacement d'une matière vierge de même nature.
- Valorisation : Mise en valeur d'une matière résiduelle par une transformation chimique qui modifie radicalement la nature du matériau. Le changement de nature ne permet pas le réemploi, la réutilisation ou le recyclage.
- Élimination : Consiste à se débarrasser des matériaux sans faire davantage d'efforts pour appliquer le concept des 3RV-E. [...] L'élimination domine par l'enfouissement des matériaux et par l'incinération de ceux-ci.

3.3. Analyse de priorisation et outil décisionnel

L'analyse de priorisation combine les deux analyses précédentes. Chaque finalité des modes de gestion est associée à sa ou ses voies de traitement possibles une fois à terre. Une finalité et une voie de traitement forment un scénario. Dans l'analyse de priorisation, ces scénarios se voient attribuer un pointage final basé sur l'addition du pointage de la finalité et de la voie de traitement composant le scénario. Cette compilation a été réalisée dans un tableau combinant les tableaux synthèses des analyses des modes de gestion et des voies de traitement. L'analyse est basée sur la comparaison des pointages finaux des différents scénarios. Les scénarios ayant les pointages les plus élevés sont à prioriser.

Essentiellement, l'outil décisionnel reprend le tableau de l'analyse de priorisation. À celui-ci est intégré un système de pondération à compléter par l'organisme souhaitant utiliser l'outil. La pondération demande d'accorder une note d'un à trois à chaque critère selon l'importance que l'organisme y accorde :

1. Le critère n'est pas une priorité pour l'organisme.
2. Le critère a une importance marquée pour l'organisme, mais n'est pas une des plus grandes priorités.
3. Le critère est d'une importance prioritaire pour l'organisme.

Chaque cote d'un critère est multipliée par la pondération accordée. Ainsi, la somme des pointages varie en fonction de l'importance de chaque critère pour chaque scénario.

4. FLUX DES MATIÈRES RÉSIDUELLES À BORD DES NAVIRES COMMERCIAUX

L'Annexe 5 de MARPOL sépare les flux des matières résiduelles produites à bord des navires en neuf catégories (OMI, 2016) :

- A. Plastique
- B. Résidus alimentaires
- C. Déchets domestiques
- D. Huile à cuisson
- E. Cendres d'incinérateur
- F. Déchets opérationnels
- G. Carcasses animales
- H. Matériel de pêche
- I. Déchets électroniques (e-waste)

Seulement les matières provenant des aires de logement de l'équipage sont analysées dans cet essai en raison de contraintes de temps. Il s'agit des trois premières catégories. La catégorie A. Plastique est élargie aux matières recyclables, alors que la B. Résidus alimentaires s'inscrit en tant que matières organiques. Les déchets domestiques (C) correspondent aux déchets (matières non valorisables) provenant des espaces de logement. Les déchets associés aux opérations de chargement et déchargement des navires font partie des F. Déchets opérationnels, donc exclus de l'essai. Les cendres d'incinérateur (catégorie E) seront traitées en tant que finalité de mode de gestion aux sections 5 et 6.

La quantité et les types de matières résiduelles produites sur un navire dépendent de plusieurs variables : nombre de personnes à bord, l'efficacité des équipements et le type de navire, incluant ses dimensions (taille et poids). La capacité d'entreposage du navire peut aussi être déterminante dans le choix de gestion des matières résiduelles (c.-à-d. incinération, décharge en mer ou entreposage). (Parks et al., 2019) Dans ce cas-ci, les navires analysés sont de tailles moyennes et comportent un équipage variant de 17 à 26 personnes. La moyenne de 21 membres d'équipage a été utilisée pour représenter les quantités de matières résiduelles. Les données caractérisant les flux de matières résiduelles de tels navires ont été fournies par deux armateurs domestiques : CSL et Transport Desgagnés, ainsi que par deux études. Ces études ont été réalisées pour le European Maritime Safety Agency par les firmes de consultation CE Delft et CHEW (2017) et Transport Canada et les Travaux publics et Services gouvernementaux Canada (2010). La première établit une révision détaillée des pratiques de gestion des matières résiduelles à bord des navires naviguant entre les ports européens et leurs quantités à travers des audits des navires et entrevues. La deuxième effectue une revue littéraire estimant les quantités de différentes matières résiduelles

produites à bord des navires commerciaux canadiens. Chaque flux possède donc plusieurs données. L'analyse utilise les moyennes des données collectées. Les quantités relevées sont sous forme de volume (m^3) ou en masse (kg), alors les masses volumiques des différentes matières ont été utilisées pour convertir l'un en l'autre (annexe 2). Les données représentent les quantités de matière triées dans leur voie appropriée (recyclage, déchets organiques et déchets domestiques). Considérant que le triage des matières à bord des navires n'est pas parfait, il faut garder en tête que les quantités de matières recyclables et organiques produites à bord des navires sont plus élevées que celles utilisées dans cet essai, alors que les quantités de déchets domestiques sont moins élevées.

4.1. Matières recyclables

Les matières recyclables sont généralement triées par a) papier et carton et b) plastique, verre et métaux recyclables. Certains navires s'appliquent davantage en séparant ces quatre matières indépendamment (figure 4.1).



Figure 4.1 Ilots de tri sur un navire (tiré de : CSL Group, 2019 c)

En moyenne, les matières recyclables représentent 53 % des matières résiduelles générées à bord des navires. Elles nécessitent un espace d'entreposage maximal de $9,6 \text{ m}^3$.

4.1.1 Plastique

La majorité du plastique générée à bord des navires provient des sections liées au logement des membres d'équipage : le garde-manger et la cuisine. Il s'agit souvent d'emballages, de contenants, de bouteilles et de sacs de plastique. Des matières plastiques peuvent être engendrées par les opérations du navire en fonction du type de cargaison. (CE Delft et CHEW, 2017) Comme le transport maritime domestique sur le Saint-Laurent manutentionne principalement du fret en vrac (Transports Québec, 2009), les résidus plastiques provenant des opérations liées à la cargaison sont négligeables. Les éléments en plastique sont collectés dans des sacs plastiques ou des bacs positionnés à travers le navire par l'équipage. (CE Delft et CHEW, 2017) Les matières plastiques sont générées à un taux de $0,005 \text{ m}^3/\text{personne/jour}$ et représentent 6 % des matières résiduelles à bord.

4.1.2 Papier et carton

Le papier et le carton prennent 42 % de l'espace d'entreposage nécessaire à toutes les matières résiduelles à bord. Le papier provient en majorité des bureaux des officiers. Le carton est plutôt utilisé en boîte à l'approvisionnement aux quais. Ainsi, une grande quantité est reçue avec chaque réception d'épicerie.

4.1.3 Verre

Le verre provient de contenants en verre ou de vaisselle brisée. Le verre représente 4 % des matières résiduelles produites à bord des navires.

4.1.4 Métaux recyclables

Les produits en métal recyclable sont majoritairement des canettes de boisson gazeuse (aluminium) ou des boîtes de conserve (acier). La revue littéraire de Transport Canada (2010) définit le nombre de canettes consommées 2/personne/jour sur les navires canadiens. Combinant les contenants de métaux ferreux et non-ferreux, les métaux recyclables représentent 1 % des matières résiduelles produites à bord des navires.

4.2. Matières organiques

Les matières organiques sont strictement produites par la cuisine et la salle à manger (figure 4.2), à moins que l'équipage amène sa nourriture dans les cabines ou la timonerie. Celles-ci sont constituées de tous les restes alimentaires : fruits, légumes, produits laitiers, protéines animales et restes de table. La quantité de matières organiques produites à bord varie selon le nombre de membres d'équipage ainsi que la gestion des aliments par les cuisiniers. (CE Delft et CHEW, 2017)



Figure 4.2 Bac de collecte de matières organiques dans la salle à manger d'un navire (tiré de : CSL Group, 2019 c)

De toutes les matières résiduelles, les matières organiques nécessitent 22 % de l'espace d'entreposage total et sont générées à un taux de 0,016 m³/personne/jour.

4.3. Déchets domestiques

Les déchets domestiques représentent les matières résiduelles provenant des aires de logement de l'équipage qui ne sont ni recyclables ni organiques. Ils sont généralement collectés dans des sacs plastiques ou des bacs de collecte situés à plusieurs endroits choisis par l'équipage sur le navire. La quantité de déchets domestiques produits chaque mois peut varier en fonction du nombre de membres d'équipage et des types de produits utilisés à bord. (CE Delft et CHEW, 2017) Des emballages non recyclables et de vieilles guenilles sont deux exemples de déchets domestiques engendrés sur les navires. La grande quantité de déchet domestique observée (25 %) est sans doute causée par de mauvais triages de matières à bord des navires.

4.4. Résumé des volumes des matières résiduelles produites à bord des navires

Le tableau 4.1 résume les volumes des différents flux de matières résiduelles qui ont été utilisés dans les analyses des prochains chapitres. Le volume d'entreposage maximal représente les volumes extrapolés sur 12 jours, selon l'hypothèse qu'un navire peut emmagasiner les matières résiduelles pendant un maximum de deux semaines.

Tableau 4.1 Volumes et masses des différents flux de matières résiduelles à bord des navires commerciaux canadiens (compilé de : CE Delft et CHEW, 2017; CSL Group, 2019b; Transport Canada et Travaux publics et Services gouvernementaux publics, 2010; Transport Desgagnés, 2018)

Matières		Volumes (m ³ /personne/jour)	Volume maximal d'entreposage à bord (m ³)	Masse (kg/personne/jour)	Masse maximale d'entreposage (kg)
Matières recyclables	Plastique	0,005	1,17	4,62	1 163
	Papier et carton	0,030	7,63	7,58	1 907
	Verre	0,003	0,678	0,807	203
	Métaux recyclables	0,001	0,129	1,43	361
Matières organiques		0,016	3,94	4,62	1 164
Déchets domestiques		0,018	4,54	2,50	630
TOTAUX		0,072	18,1	21,6	5 428

5. MODES DE GESTION DES MATIÈRES RÉSIDUELLES À BORD DES NAVIRES

Comme aucune décharge en mer de matières résiduelles n'est permise dans la voie maritime du Saint-Laurent, les navires n'ont d'autre choix que d'entreposer leurs matières résiduelles à bord jusqu'à un arrêt dans un port. Généralement, un sous-traitant récupère les matières résiduelles directement aux navires et gère leur fin de vie. Ceci entraîne des coûts pour les armateurs puisqu'ils sont responsables de gérer la fin de vie de leurs matières résiduelles. (*Politique québécoise de gestion des matières résiduelles*, art. 7.6) Il existe plusieurs équipements et technologies de traitement de matières résiduelles conçues pour être installées à bord de navires. Ces équipements permettent de réduire le volume des matières résiduelles, donc les coûts associés au transport de celles-ci. De plus, ils favorisent l'optimisation de l'espace disponible à bord des navires commerciaux en diminuant l'espace nécessaire à l'entreposage des matières résiduelles. (Lourenço Sanches et al., 2019) Certaines technologies réduisent le volume des matières résiduelles dans le but de les entreposer alors que d'autres les transforment directement à bord (Lutto, 2001). Ce chapitre présente les différents modes de gestion des matières résiduelles à bord des navires commerciaux, incluant les équipements disponibles et adaptés au transport maritime. Chaque mode est évalué selon ses risques pour la santé et sécurité de l'équipage, l'économie d'espace qu'il procure, ses coûts associés sur 5 ans, son potentiel de valorisation et son impact environnemental (voir chapitre 3. Méthodologie). Les modes de gestion sont présentés dans l'ordre du traitement le plus léger (c.-à-d. aucun traitement) jusqu'au plus sévère. Ils n'ont pas pu être séparés par le flux de matières résiduelles qu'ils traitent puisque certains traitent un seul flux alors que d'autres en traitent plusieurs.

Une recherche documentaire non exhaustive a été réalisée afin d'identifier et d'évaluer les modes de gestion à bord des navires. Des documents généraux ont d'abord été retracés (revues littéraires et comparaisons de différents modes de gestion) afin de répertorier les modes de gestion disponibles aux navires commerciaux. Les technologies destinées de transformation des matières résiduelles en vue de les décharger en mer n'ont pas été incluses dans la suite des recherches (ex. broyeur à restes alimentaires et appareil transformant le papier et carton en pulpe). Ensuite, la recherche documentaire a été approfondie davantage pour chaque mode de gestion disponible pour la flotte domestique canadienne. La recherche a été effectuée avec les banques de données *Scopus* et *Google*. Lorsqu'un équipement est distribué par plusieurs fabricants, un seul modèle a été sélectionné à titre d'exemple afin d'offrir des données précises (c.-à-d. dimensions, prix, consommation). Le modèle choisi correspond avec une marque utilisée par CSL ou facilement trouvable et accessible sur internet. Il peut donc y avoir une marge d'erreur dans l'analyse dans le cas de modèles différents.

Les modes de gestion étudiés sont présentés à la figure 5.1 en fonction des flux de matières résiduelles qu'ils traitent.

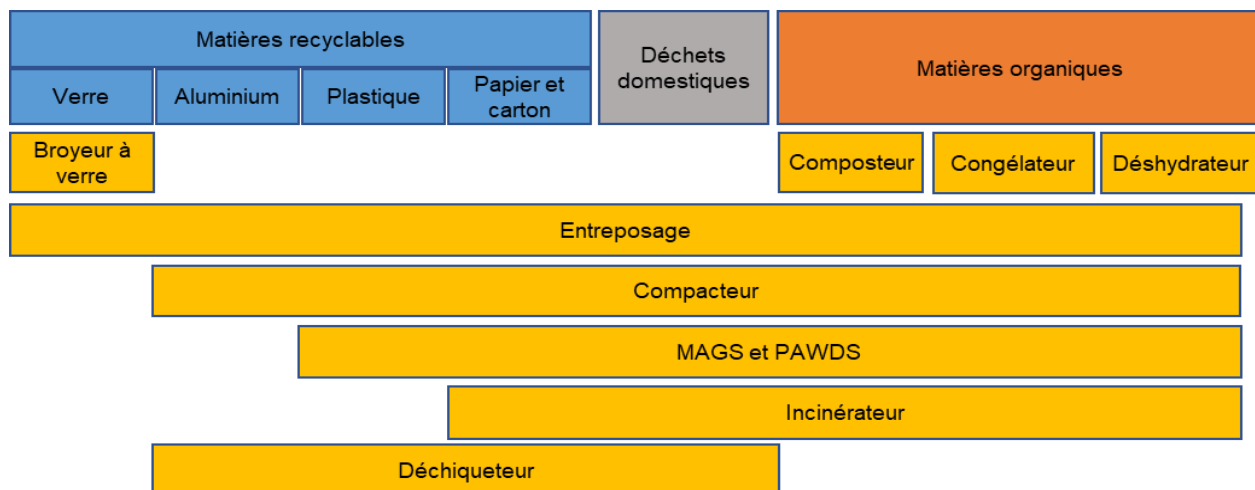


Figure 5.1 Modes de gestion associés flux de matières résiduelles traitées

5.1. Entreposage

L'entreposage des matières résiduelles s'effectue généralement sur un pont extérieur, à l'arrière du navire. Les matières sont mises dans des sacs plastiques, puis dans des cages ou des bacs (figure 5.2a, b). Tous les éléments servant à l'entreposage de matières résiduelles à l'extérieur sont attachés de manière à éviter leur déplacement sur le pont. Parfois, les matières peuvent être entreposées à l'intérieur (figure 2.1c). L'analyse suppose que les matières recyclables et déchets domestiques sont entreposés à l'extérieur dans des cages métalliques de 1,91 m³ alors que les matières organiques sont entreposées à l'extérieur dans des bacs roulants de 240 litres ou 0,25 m³. L'entreposage s'applique à tous les flux de matières résiduelles.



Figure 5.2 Entreposage des matières résiduelles à bord des navires (tiré de : CSL Group, 2019 c)

5.1.1 Risques pour la santé et sécurité

Un entreposage non responsable des matières résiduelles peut entraîner des conséquences sur la santé de l'équipage. En effet, les matières résiduelles peuvent abriter des microorganismes ou même des vermines (rats et insectes) vecteurs de maladies et agents étiologiques. (Lutto, 2001) Manipuler les matières résiduelles peut s'avérer risqué si celles-ci contiennent des objets tranchants pouvant percer le sac et la peau des matelots. Certaines matières peuvent éventuellement couler sur le pont et causer des chutes. (WHO, 2011) L'entreposage est aussi associé aux risques liés aux soulèvements et transports de charges lourdes, puisqu'il nécessite un déplacement de toutes les matières résiduelles jusqu'à l'aire d'entreposage. Les sacs peuvent d'ailleurs rompre et tomber sur la personne les transportant. (OIT, 2012 b) Puisque l'entreposage se fait majoritairement à l'extérieur, les risques liés aux intempéries s'appliquent. La synthèse des risques pour la santé et la sécurité est présentée à l'annexe 3.

Vraisemblablement, les matières organiques sont à la base de la plupart des risques pour la santé et sécurité de l'équipage. D'abord, les matières organiques entreposées subissent une oxydation incomplète par la faune microbienne qu'elles accueillent. Ce procédé émet des odeurs malodorantes dans l'aire d'entreposage. (Ville de Montréal, Odotech inc. et Solinov inc., 2004) Ensuite, les vermines sont davantage attirées par celles-ci que par les matières recyclables et les déchets domestiques (WHO, 2011). Finalement, seules les matières organiques peuvent se liquéfier et couler hors des bacs et des sacs.

Pointage : 13 points

Classe : Pointage : 12 à 13 points

Cote : 4

5.1.2 Économie d'espace à bord

L'entreposage à bord des matières résiduelles n'est pas une économie d'espace, mais plutôt l'espace de base nécessaire pour entreposer toutes les matières résiduelles (économie de 0 %). Pour 12 jours, les déchets domestiques, matières recyclables et organiques requièrent 18,1 m³.

Classe : 0 %

Cote : 2

5.1.3 Coûts associés sur 5 ans

Le calcul des coûts associés est détaillé en annexe 4. Pour le volume maximal d'entreposage, les coûts liés à l'entreposage du total des matières résiduelles à bord s'élèvent à 1 102,13 \$, ou 167 615,60 \$ sur 5 ans.

Classe : Entre 160 000,01 \$ et 180 000,00 \$

Cote : 4

5.1.4 Potentiel de valorisation

L'entreposage ne transforme pas les matières résiduelles. Ainsi, toutes les voies de traitement sont encore disponibles, d'où le pointage total de 36 (tableau 5.1).

Tableau 5.1 Potentiel de valorisation de l'entreposage

Voies de traitement	3RV-E	Matière résiduelle — finalités						Pointage
		Matière organique	Papier et carton	Plastique	Verre	Métaux recyclables	Déchets domestiques	
Compostage	Recyclage	3	3					6
Biométhanisation	Recyclage	3	3					6
Centre de tri	Recyclage		3	3	3	3		12
Polystyvert	Recyclage						3	3
Consigne	Recyclage					3		3
Lieu d'enfouissement technique	Élimination	1	1	1	1	1	1	6
Production d'énergie récupérée								-
Total								36

Classe : Pointage : 36 points et plus

Cote : 5

5.1.5 Impact environnemental

L'entreposage ne produit aucune émission directe de gaz à effet de serre. De plus, il n'y a aucune utilisation d'énergie dans l'entreposage de matières résiduelles sur le navire, donc aucune émission indirecte.

Classe : Aucune émission d'éCO₂

Cote : 5

5.1.6 Synthèse de l'entreposage

La note totale de l'entreposage est présentée au tableau 5.2 :

Tableau 5.2 Résultats de l'analyse multicritère : entreposage

Critère	Classe obtenue	Cote
Risque pour la santé et sécurité	Pointage : 12 à 13	4
Économie d'espace	0 %	2
Coûts associés sur 5 ans	Entre 160 000,01 \$ et 180 000,00 \$	4
Potentiel de valorisation	Pointage : 36 points et plus	5
Impact environnemental	Aucune émission d'éCO ₂	5
TOTAL		20

L'entreposage est le mode de gestion de référence pour les autres modes. Il obtient un pointage plutôt élevé grâce à son faible risque pour la santé et la sécurité des matelots qui se limite surtout à la putréfaction des matières organiques entreposées. Les couts associés sur 5 ans ne sont pas si élevés comparés aux autres modes de gestion, sachant que la plupart des modes ont un prix plus élevé que l'économie qu'ils offrent sur 5 ans. L'entreposage a aussi le potentiel de valorisation le plus élevé puisque toutes les voies de recyclage ou valorisation sont possibles. L'entreposage ne produit d'ailleurs aucune émission de GES. Par contre, il n'offre aucune économie d'espace. Les autres modes de gestion sont comparés à cette référence.

5.2. Congélateur

L'utilisation de congélateur ou de chambre froide facilite l'entreposage de matières organiques (seulement). Certains navires y mettent leurs restes alimentaires jusqu'au déchargement à terre (figure 5.3), ce qui permet de réduire les odeurs et la présence d'insectes (CE Delft et CHEW, 2017; Recyc-Québec, 2019 c).



Figure 5.3 Congélateurs à bord d'un navire (tiré de : CSL Group, 2019 c)

Pour être installés à l'intérieur, les congélateurs doivent respecter les dimensions d'une porte conventionnelle. Pour réaliser l'analyse, le modèle de congélateur a été repéré sur le site de Home Depot de manière à obtenir ses dimensions, son prix et sa consommation d'électricité (Home Depot International inc., 2020; Whirlpool Corporation, s.d.). Le modèle le plus large en respectant les dimensions d'une porte standard a été sélectionné.

5.2.1 Risques pour la santé et sécurité

Puisque l'utilisation de congélateurs ne diffère pas énormément de l'entreposage, les risques pour la santé et sécurité des matelots associés sont presque tous les mêmes. N'empêche, l'utilisation de congélateurs a quelques avantages. En effet, la congélation stoppe ou ralentit la prolifération des microorganismes à l'origine de la décomposition des matières organiques (Agriculture, Pêcheries et Alimentation Québec, 2020). De cette manière, les odeurs produites par la décomposition (Ville de Montréal et al., 2004) sont

inhibées. Ainsi, certains risques pour la santé et sécurité des matelots ne sont plus présents grâce à l'utilisation de congélateurs. De plus, la congélation solidifie les restes liquides évitant qu'ils coulent sur le pont et le rendent glissant. D'autre part, l'utilisation d'un appareil électrique entraîne certains risques. Le fabricant Whirlpool avertit les risques de décharges électriques si certaines instructions ne sont pas suivies (Whirlpool Corporation, 2013). Tous les risques s'appliquant aux matières recyclables et aux déchets domestiques restent les mêmes puisque ces matières sont exclues des congélateurs. La synthèse des risques pour la santé et la sécurité est présentée à l'annexe 3.

Pointage : 11 points

Classe : Pointage : 10 à 11 points

Cote : 5

5.2.2 Économie d'espace à bord

Un congélateur n'offre aucune diminution du volume des matières organiques à entreposer. Il n'y a donc aucune économie d'espace à bord (0 %) avec l'utilisation de congélateurs.

Classe : 0 %

Cote : 2

5.2.3 Coûts associés sur 5 ans

Le prix d'un congélateur provient du site web de Home Depot : 895,00 \$. Comme le modèle de congélateur offre une capacité d'entreposage de 0,615 m³ et que le volume maximal d'entreposage de matières organiques est de 3,94 m³, sept congélateurs sont nécessaires lorsque les déchargements se font aux 12 jours. La consommation électrique du congélateur est de 386 kWh/année (Whirlpool Corporation, s.d.). Considérant que l'électricité du navire provient du moteur auxiliaire s'alimentant au carburant (355,78 \$/tonne de carburant), les coûts de l'énergie nécessaire à l'opération du congélateur sont 6,63 \$/12 jours (Transport Canada et Weir Marine Engineering, 2007; World Wildlife Fund [WWF]) Canada, 2018). Les coûts de gestion des matières résiduelles sont les mêmes qu'avec l'entreposage et sont présentés à l'annexe 4. Sur 5 ans, les coûts liés s'élèvent à 174 892,34 \$.

Classe : Entre 160 000,01 \$ et 180 000,00 \$

Cote : 4

5.2.4 Potentiel de valorisation

Tout comme l'entreposage, le congélateur ne transforme pas les matières organiques. Toutes les voies de traitement sont donc disponibles, pour un total de 36 points (tableau 5.3).

Tableau 5.3 Potentiel de valorisation du congélateur

Voies de traitement	3RV-E	Matière résiduelle — finalités						Pointage
		Matière organique	Papier et carton	Plastique	Verre	Métaux recyclables	Déchets domestiques	
Compostage	Recyclage	3	3					6
Biométhanisation	Recyclage	3	3					6
Centre de tri	Recyclage		3	3	3	3		12
Polystyvert	Recyclage						3	3
Consigne	Recyclage					3		3
Lieu d'enfouissement technique	Élimination	1	1	1	1	1	1	6
Production d'énergie récupérée								-
Total								36

Classe : Pointage : 36 points et plus

Cote : 5

5.2.5 Impact environnemental

Les émissions indirectes de gaz à effet de serre d'un congélateur proviennent de l'utilisation d'énergie à bord; 89,0 kWh sont nécessaires pour alimenter les sept congélateurs durant 12 jours (Whirlpool Corporation, s.d.). Considérant que la production d'électricité consomme 0,212 L de mazout lourd par kWh, 18,9 litres de carburants sont nécessaires. Ceci provoque une estimation de 60 kg éCO_2 en 12 jours. Aucune émission directe provient de du congélateur.

Classe : Entre 1 et 100 kg d' éCO_2

Cote : 4

5.2.6 Synthèse du congélateur

La note totale d'un congélateur est présentée au tableau 5.4 :

Tableau 5.4 Résultats de l'analyse multicritère : congélateurs

Critère	Classe obtenue	Cote
Risque pour la santé et sécurité	Pointage : 10 à 11	5
Économie d'espace	0 %	2
Couts associés sur 5 ans	Entre 160 000,01 \$ et 180 000,00 \$	4
Potentiel de valorisation	Pointage : 36 points et plus	5
Impact environnemental	Entre 1 et 100 kg d' éCO_2	4
TOTAL		20

Le congélateur obtient un pointage égal à l'entreposage. Il obtient le plus de points pour son très faible risque pour la santé et la sécurité des matelots étant donné qu'il ralentit grandement la putréfaction des matières organiques. Les couts associés sur 5 ans sont similaires à l'entreposage, ayant seulement le prix

des congélateurs en supplément. Il offre le même potentiel de valorisation et peu d'émissions de GES liés à la consommation énergétique de l'appareil. Le congélateur perd ses points pour son manque d'économie d'espace, qui n'est pas différent de l'entreposage.

5.3. Compacteur

Un compacteur est un équipement technologique servant à diminuer le volume de matières à l'aide d'une force exercée sur celles-ci (figure 5.4). Il convient aux matières recyclables (à l'exception du verre) et aux déchets domestiques. (National Research Council, 1995) Certains modèles peuvent fournir une force de compaction de 6 tonnes (Lutto, 2001). Les matières compactées résultantes sont plus faciles à entreposer (American Bureau of Shipping [ABS], 2012).



Figure 5.4 Compacteurs à bord de navires (tiré de : CSL Group, 2019 c)

La figure 5.4a présente le modèle utilisé pour l'analyse. Il s'agit du modèle Flex 5031 de l'entreprise Orwak. Il offre un ratio de compaction à 10 : 1 et possède une consommation de 660 wattheures. Les matières résiduelles sont mises dans le cylindre, puis la machine est activée. Le pilon descend dans le cylindre avec une force de 3 tonnes. (Orwak, s.d.)

5.3.1 Risques pour la santé et sécurité

Les risques liés à l'entreposage à l'extérieur des matières organiques s'appliquent à ce mode de gestion puisqu'elles ne sont pas adéquates au compacteur (Orwak, s.d.). Ainsi, les risques liés à la putréfaction des matières organiques (odeurs, microorganismes, mouches) et à leur fuite liquide sur le pont sont présents. Comme les matières compactées sont entreposées à l'extérieur, tous les risques liés au travail sur le pont sont aussi présents (coupure, chute des matières résiduelles sur les jambes, changement de température extrême). Le compacteur est alimenté à l'électricité, il y a donc un risque de décharge électrique. Celui-ci est souvent situé dans une pièce confinée du navire, ce qui entraîne des risques liés à de tels lieux de

travail. Considérant qu'il n'est censé n'y avoir aucune contamination des différents flux de matières résiduelles par d'autres matières, il n'y a aucun risque d'explosion de contenant sous pression puisqu'il n'y en a aucun dans les matières traitées par le compacteur. La synthèse des risques pour la santé et la sécurité est présentée à l'annexe 3.

Pointage : 15 points

Classe : Pointage : 14 à 15 points

Cote : 3

5.3.2 Économie d'espace à bord

Le compacteur possède un ratio de compaction de 10 : 1. Ainsi, le volume des déchets domestiques, du plastique, du papier et carton et des métaux recyclables sont divisés par 10. Le volume total de matières résiduelles accumulées en 12 jours devient donc 5,96 m³ au lieu de 18,1 m³. Néanmoins, le compacteur lui-même requiert 2,15 m³ qui s'ajoute au 5,96 m³ pour un total de 8,11 m³. Le compacteur représente une économie d'espace de 55 %.

Classe : ≥ 51 %

Cote : 5

5.3.3 Coûts associés sur 5 ans

Le prix d'achat du modèle est 12 400 dollars australiens (Machine4u, 2020). Selon le taux d'échange annuel 2019 de la Banque du Canada (s.d.), le prix d'achat est de 11 442,72 \$ canadiens. Un cycle de compaction prend 36 secondes et peut prendre 0,098 m³ de matière à la fois (Orwak, s.d.). Selon la quantité de matière à compacter (13,4 m³), une heure et 22 minutes d'opération sont nécessaires en 12 jours. Puisque la consommation donnée par le fabricant n'est pas plus précise, la consommation pour deux heures est utilisée, soit 1,32 kWh. Les coûts associés sur 5 ans s'élèvent à 124 878,64 \$ (annexe 4).

Classe : 160 000,00 \$ et moins

Cote : 5

5.3.4 Potentiel de valorisation

Le compacteur ne modifie pas la nature des matières qu'il compacte, donc toutes les voies de traitement sont encore disponibles pour un pointage total de 36 (tableau 5.5).

Tableau 5.5 Potentiel de valorisation du compacteur

Voies de traitement	3RV-E	Matière résiduelle — finalités						Pointage
		Matière organique	Papier et carton	Plastique	Verre	Métaux recyclables	Déchets domestiques	
Compostage	Recyclage	3	3					6
Biométhanisation	Recyclage	3	3					6
Centre de tri	Recyclage		3	3	3	3		12
Polystyvert	Recyclage						3	3
Consigne	Recyclage					3		3
Lieu d'enfouissement technique	Élimination	1	1	1	1	1	1	6
Production d'énergie récupérée								-
Total								36

Classe : Pointage : 36 points et plus

Cote : 5

5.3.5 Impact environnemental

Le compacteur consomme de l'énergie, mais son traitement des matières résiduelles n'émet aucune émission atmosphérique. Avec les mêmes facteurs définis dans la méthodologie, la consommation électrique du compacteur (1,32 kWh/12jours) résulte en 1 kg d'écO₂ sur 12 jours.

Classe : Entre 1 et 100 kg d'écO₂

Cote : 4

5.3.6 Synthèse du compacteur

La note totale du compacteur est présentée au tableau 5.6 :

Tableau 5.6 Résultats de l'analyse multicritère : compacteur

Critère	Classe obtenue	Cote
Risque pour la santé et sécurité	Pointage : 14 à 15	3
Économie d'espace	≥ 51 %	5
Coûts associés sur 5 ans	160 000,00 \$ et moins	5
Potentiel de valorisation	Pointage : 36 points et plus	5
Impact environnemental	Entre 1 et 100 kg d'écO ₂	4
TOTAL		22

Le compacteur obtient le pointage le plus élevé des modes de gestion, ce qui s'explique majoritairement par la grande économie d'espace. En effet, le compacteur, selon le fabricant, réduit les matières à 10 % de leur taille initiale. En plus, ceci réduit considérablement les coûts associés et permet un retour sur investissement très rapide. Compacter les matières ne modifie pas l'intégrité des matières, ce qui permet

de conserver leur potentiel de valorisation. Comme la consommation énergétique du compacteur n'est pas élevée, il n'émet pas beaucoup d'émissions de GES. Le compacteur perd seulement quelques points aux risques de santé et sécurité pour les matelots.

5.4. Déchiqueteur

Un déchiqueteur est un appareil servant à couper les matières insérées en plusieurs petits morceaux. Il en existe plusieurs types selon la matière à déchiqueter : à papier, à verre (voir 5.5. Broyeur à verre), à résidus métalliques et à plastiques. Les déchiqueteurs sont souvent utilisés sur les navires de croisière et des É.-U. Navy. Dans les années 2000, les métaux et le verre étaient déchiquetés, mis dans un sac et rejetés à la mer. (Lutto, 2001; Markle, Gill et McGraw, 2000). Aujourd'hui, MARPOL interdit le déchargement de tels matériaux par-dessus bord (OMI, 2018). Les déchiqueteurs peuvent donc être utilisés pour réduire le volume des matières résiduelles pour en faciliter l'entreposage.

Le déchiqueteur sélectionné à titre d'exemple provient de la compagnie Evac qui en offre plusieurs modèles. Le Evac UMS 5050 (figure 5.5) déchiquète les déchets domestiques, le plastique, les produits en métal recyclable, le papier et carton et le bois. Le déchiqueteur agit avec des pièces tranchantes en rotation par lesquelles les matières sont aspirées. Les matières sont insérées manuellement dans la partie supérieure de l'appareil qui se ferme avant le démarrage. Les matières déchiquetées tombent dans le compartiment inférieur mobile (0,130 m³) qui peut être retiré de l'appareil pour transférer celles-ci dans les aires d'entreposage. (Evac, s.d. b)

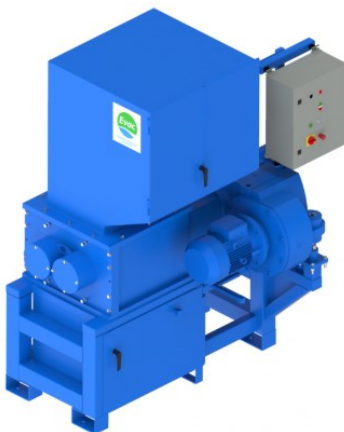


Figure 5.5 Déchiqueteur Evac UMS 5050 (tiré de : Evac, s.d. b)

5.4.1 Risques pour la santé et sécurité

Les risques pour la santé et la sécurité des matelots sont les mêmes que ceux de l'entreposage. En effet, le poids des matières reste le même, c'est seulement le volume de celles-ci qui diminue. L'entreposage des matières déchiquetées se fait de la même manière que les matières non traitées. Aussi, le déchiqueteur ne s'applique pas aux matières organiques, les risques associés à celles-ci restent donc les mêmes. Par

contre, les risques liés aux équipements électriques s'appliquent. Ainsi, il peut y avoir un risque de décharge électrique et des risques physiques inhérents aux pièces rotatives du déchiqueteur. Les risques encourus lors d'un travail dans un endroit confiné s'appliquent au déchiqueteur puisqu'il est opéré à l'intérieur. La synthèse des risques pour la santé et la sécurité est présentée à l'annexe 3.

Pointage : 17 points

Classe : Pointage : 16 à 17 points

Cote : 2

5.4.2 Économie d'espace à bord

Evac affirme que le déchiqueteur peut réduire le volume des matières de 90 % dépendamment du type de matière. Puisqu'aucune autre donnée n'est indiquée, le calcul de l'économie d'espace à bord a été réalisé avec une réduction des matières résiduelles de 90 %. Ceci entraîne la même réduction d'espace d'entreposage que le compacteur. Le volume des matières résiduelles descend à $8,11 \text{ m}^3$ auquel s'ajoute le volume du déchiqueteur, lui-même $3,64 \text{ m}^3$ d'espace. (Evac, s.d. b) Le nouveau volume d'entreposage est $11,8 \text{ m}^3$, ce qui représente une économie d'espace de 35 %.

Classe : 26 à 50 %

Cote : 4

5.4.3 Coûts associés sur 5 ans

Un prix précis n'a pas été trouvé pour le modèle du déchiqueteur à l'étude. Par contre, la compagnie hollandaise Delitek offrant des produits similaires offre une variation de prix de déchiqueteur entre 10 000 et 40 000 euros (Delitek, 2017), ou 14 856,00 \$ à 59 424,00 \$ (Banque du Canada, s.d.). La valeur médiane de cette variation est utilisée pour estimer le prix d'achat du déchiqueteur, soit 37 140,00 \$.

La capacité du déchiqueteur varie entre 7,5 et 9,0 kW. La valeur la plus haute a été utilisée pour réaliser le calcul du coût de la consommation énergétique du déchiqueteur. Malheureusement, le fabricant n'a pas partagé le rythme de déchiquetage de son appareil. Il a fallu utiliser la valeur d'un autre fabricant (Leidos) afin d'estimer celle du Evac UMS 5050 : 22,68 kg/heure pour les métaux recyclables et 36,29 kg/heure pour le plastique et les autres matières (Leidos, 2020). En utilisant les masses volumiques des matières de l'Observation des Déchets en Auvergne-Rhône-Alpes (annexe 2), la capacité du déchiqueteur devient $0,008 \text{ m}^3/\text{heure}$ de métaux recyclables et $0,453 \text{ m}^3/\text{heure}$ de plastiques. L'analyse estime que les déchets domestiques et le papier et carton sont déchiquetés au même rythme que le plastique. Le nombre d'heures d'opération pour le volume total de déchets domestiques, papier/carton, métaux recyclables et plastique est 0,6 heure. Ainsi, 9,0 kWh sont nécessaires pour déchiqueter les matières résiduelles de 12 jours.

Avec la consommation, les coûts associés sur 5 ans sont 150 662,78 \$ (annexe 4).

Classe : 160 000,00 \$ et moins

Cote : 5

5.4.4 Potentiel de valorisation

Déchiqueter le papier et le carton n'est pas un problème pour les centres de tri, tant qu'ils restent séparés des autres matières recyclables (annexe 5) (Tricentris, 2015). Par contre, les centres de tri ne sont pas en mesure de trier un mélange de plastiques et métaux recyclables déchiquetés (M. Olivier, note, 7 avril 2020). Ces matières se dirigeront donc vers l'enfouissement. La consigne n'est plus une option si les canettes d'aluminium sont déchiquetées avec les métaux recyclables. Le pointage total devient donc 27 (tableau 5.7).

Tableau 5.7 Potentiel de valorisation du déchiqueteur

Voies de traitement	3RV-E	Matière résiduelle — finalités						Pointage
		Matière organique	Papier et carton déchiquetés	Plastique déchiqueté	Verre	Métaux recyclables déchiquetés	Déchets domestiques	
Compostage	Recyclage	3	3					6
Biométhanisation	Recyclage	3	3					6
Centre de tri	Recyclage		3		3			6
Polystyvert	Recyclage						3	3
Consigne	Recyclage							0
Lieu d'enfouissement technique	Élimination	1	1	1	1	1	1	6
Production d'énergie récupérée								-
Total								27

Classe : Pointage : 27 à 35 points

Cote : 4

5.4.5 Impact environnemental

Le déchiqueteur consomme 9,00 kWh en 12 jours, soit 1,91 litre de carburant. Le déchiqueteur émet donc 6 kg éCO₂ indirects totaux considérant qu'il n'émet aucune émission directe.

Classe : Entre 1 et 100 kg d'éCO₂

Cote : 4

5.4.6 Synthèse du déchiqueteur

La note totale du déchiqueteur est présentée au tableau 5.8 :

Tableau 5.8 Résultats de l'analyse multicritère : déchiqueteur

Critère	Classe obtenue	Cote
Risque pour la santé et sécurité	Pointage : 16 à 17	2
Économie d'espace	26 à 50 %	4
Coûts associés sur 5 ans	160 000,00 \$ et moins	5
Potentiel de valorisation	Pointage : 27 à 35 points	4
Impact environnemental	Entre 1 et 100 kg d'écO ₂	4
TOTAL		19

Le déchiqueteur gagne ses points grâce à l'économie d'espace qu'il offre et, par le fait même, le retour sur investissement rapide. Le potentiel de valorisation des finalités est tout de même élevé, malgré qu'il soit moindre que les modes de gestion précédents. Les impacts environnementaux sont aussi limités puisque la consommation énergétique du déchiqueteur n'est pas très élevée. Néanmoins, le déchiqueteur est un peu plus risqué pour la santé et la sécurité des matelots que les modes de gestion précédents.

5.5. Broyeur à verre

Essentiellement, le broyeur à verre est le même appareil que le déchiqueteur, mais adapté au déchiquetage du verre. Le modèle sélectionné provient aussi de l'entreprise Evac : Evac U80 (figure 5.6). Il est plus petit que le déchiqueteur et beaucoup plus rapide. Il ne sert qu'à broyer du verre. Les contenants en verre sont insérés manuellement dans la partie cylindrique. Le verre est broyé en particules de 40 mm avec un minimum de poudre de verre. Les morceaux tombent dans le bac noir de 80 litres, inclus avec l'appareil. Le couvercle fermant l'entrée du verre protège contre les éclats. (Evac, s.d. a)



Figure 5.6 Broyeur à verre Evac U80 (tiré de : Evac, s.d. a)

5.5.1 Risques pour la santé et sécurité

Comme le broyeur à verre est le même appareil que le déchiqueteur de la section précédente, il comporte les mêmes risques pour la santé et la sécurité que ce dernier. La synthèse des risques pour la santé et la sécurité est présentée à l'annexe 3.

Pointage : 17 points

Classe : Pointage : 16 à 17 points

Cote : 2

5.5.2 Économie d'espace à bord

Le verre subit une réduction de volume de 80 %, ce qui diminue son volume à 0,136 m³. L'équipement prend un espace de 1,08 m³, ce qui résulte à un espace d'entreposage de 18,6 m³. Il n'y a aucune économie d'espace sinon une augmentation de 3 %.

Classe : < 0 %

Cote : 1

5.5.3 Coûts associés sur 5 ans

Tout comme avec le déchiqueteur, aucun prix d'achat n'a été trouvé avec la recherche documentaire, l'estimation de l'entreprise Delitek a donc été réutilisée ici. Comme le broyeur à verre est un des produits les plus petits d'Evac, le prix le plus bas a été utilisé. Le prix d'achat estimé est donc 14 856,00 \$.

Le broyeur a une capacité de 120 bouteilles par minute. Il a été tenu pour acquis qu'une bouteille de verre réfère à une bouteille de verre normale, c'est-à-dire d'un volume de 341 mL. Ainsi, le broyeur a une capacité de 0,041 m³ par minute, donc son utilisation pour broyer tout le verre d'un navire prend 17 minutes. Il nécessite 3,6 kWh pour fonctionner. La consommation énergétique pour une heure a été utilisée pour le calcul des coûts. (Evac, s.d. a)

En addition aux coûts liés à la consommation énergétique, les coûts sur 5 ans du broyeur à verre sont 180 929,48 \$ (annexe 4).

Classe : Entre 180 000,01 \$ et 200 000,00 \$

Cote : 3

5.5.4 Potentiel de valorisation

Broyer le verre l'empêche d'être envoyé en centre de tri puisqu'il risque de contaminer les autres matières du centre ou même endommager l'équipement (Recyc-Québec, 2018a). Le pointage du potentiel de valorisation est donc de 33 (tableau 5.9).

Tableau 5.9 Potentiel de valorisation du broyeur

Voies de traitement	3RV-E	Matière résiduelle — finalités						Pointage
		Matière organique	Papier et carton	Plastique	Verre broyé	Métaux recyclables	Déchets domestiques	
Compostage	Recyclage	3	3					6
Biométhanisation	Recyclage	3	3					6
Centre de tri	Recyclage		3	3		3		9
Polystyvert	Recyclage						3	3
Consigne	Recyclage					3		3
Lieu d'enfouissement technique	Élimination	1	1	1	1	1	1	6
Production d'énergie récupérée								-
Total								33

Classe : Pointage : 27 à 35 points

Cote : 4

5.5.5 Impact environnemental

Pour une consommation de 3,6 kWh pour 12 jours, donc 2 kg éCO₂ indirects sont émis. Il n'y a aucune émission directe.

Classe : Entre 1 et 100 kg d'éCO₂

Cote : 4

5.5.6 Synthèse du broyeur à verre

La note totale du broyeur à verre est présentée au tableau 5.10 :

Tableau 5.10 Résultats de l'analyse multicritère : broyeur à verre

Critère	Classe obtenue	Cote
Risque pour la santé et sécurité	Pointage : 16 à 17	2
Économie d'espace	< 0 %	1
Coûts associés sur 5 ans	Entre 180 000,01 \$ et 200 000,00 \$	3
Potentiel de valorisation	Pointage : 27 à 35 points	4
Impact environnemental	Entre 1 et 100 kg d'éCO ₂	4
TOTAL		14

Le broyeur à verre obtient un pointage plutôt bas considérant qu'il augmente l'espace nécessaire pour entreposer les matières résiduelles à bord du navire. En effet, le broyeur ne traite que du verre qui n'est pas produit en grande quantité. Diminuer l'espace nécessaire pour le verre ne compense pas l'espace du broyeur lui-même. Il est aussi plutôt risqué pour la santé et sécurité des matelots, puis n'offre pas de retour

sur investissement en 5 ans. Toutefois, il ne diminue pas trop le potentiel de valorisation puisqu'il n'influence que celui du verre. Aussi, il n'apporte qu'un petit impact sur l'environnement.

5.6. Composteur

Un composteur permet de transformer les matières organiques en compost sur place. Il en existe plusieurs modèles accessibles au Québec, notamment avec les entreprises Actium Resources, Brome Compost et Joracan. Le modèle sélectionné pour l'analyse provient d'une entreprise suggérée par Vaneeckhaute et Giguère (2019) qui offre le plus d'informations sur son site internet. Il s'agit du Citypod de Vertal inc. (figure 5.7). Le modèle M a une capacité hebdomadaire de 700 kg, alors qu'un navire en produit 4,62 kg/personne/jour soit 97,0 kg/jour ou près de 700 kg par semaine. Le modèle similaire de la compagnie Joracan précise le fonctionnement du composteur. D'abord, la matière organique est mise dans le premier compartiment du composteur. D'autres matières organiques peuvent être ajoutées au fur et à mesure de l'opération de l'appareil. La matière organique est barattée durant deux semaines, puis transférée dans le deuxième compartiment pour y rester un autre deux semaines. Le compost peut ensuite être sorti de l'appareil. (Joracan, 2015)



Figure 5.7 Citypod M (tiré de : Vertal inc., 2014)

5.6.1 Risques pour la santé et sécurité

Le composteur comporte les mêmes risques que les congélateurs. Les risques associés à la putréfaction des matières organiques ne s'appliquent pas au composteur. Le Citypod comporte un système destructeur d'odeurs qui permet de les maîtriser (Vertal inc., 2014), celles-ci ne sont donc pas inconfortables pour les matelots. Comme le composteur est installé à l'extérieur, il n'y a pas de risque lié au travail dans un endroit confiné. La synthèse des risques pour la santé et la sécurité est présentée à l'annexe 3.

Pointage : 13 points

Classe : Pointage : 12 à 13 points

Cote : 4

5.6.2 Économie d'espace à bord

Le volume de matière organique diminue de 30 % grâce à l'évaporation de l'eau qu'elle contient (Olivier, 2016), résultant en 2,76 m³ de compost en 12 jours. Tout de même, la matière organique est entreposée dans le Citypod. Le volume d'entreposage de la matière organique et du compost est donc compris dans l'espace nécessaire au composteur, soit 7,89 m³ (Vertal inc., 2015). Le volume total, 22,0 m³, représente une augmentation de l'espace nécessaire à bord de 22 % de l'espace initial.

Classe : < 0 %

Cote : 1

5.6.3 Coûts associés sur 5 ans

Le prix du Citypod est 61 700,85 \$, selon RecyclingWorks (2015). Comme composter la matière organique réduit son volume de 30 % (Olivier, 2016), le volume de matière organique à traiter à terre devient 2,76 m³. Le coût associé au traitement de tant de matière organique diminue à 39,05 \$. La consommation énergétique du Citypod est de 1,3 kWh par jour (Vertal inc., 2015). Comme celui-ci est en marche tous les jours durant les 12 jours d'entreposage maximal, le composteur utilise 15,6 kWh en 12 jours. Sur 5 ans, les coûts s'élèvent à 226 954,59 \$ (annexe 4).

Classe : Entre 200 000,01 \$ et 250 000,00 \$

Cote : 2

5.6.4 Potentiel de valorisation

Lors de la recherche documentaire, aucune contrindication n'indique que le compost domestique n'est pas accepté au centre industriel de compostage ou de biométhanisation. Le pointage est donc de 36 points (tableau 5.11). Une fois mature, le compost peut être simplement épandu au sol. Toutefois, l'épandage n'a pas été considéré dans les voies de traitement à cause de la réglementation stricte entourant la vente de matières fertilisantes et les demandes d'autorisation (Hébert, 2015) et du temps de maturation nécessaire.

Tableau 5.11 Potentiel de valorisation du composteur

Voies de traitement	3RV-E	Matière résiduelle — finalités						Pointage
		Compost	Papier et carton	Plastique	Verre	Métaux recyclables	Déchets domestiques	
Compostage	Recyclage	3	3					6
Biométhanisation	Recyclage	3	3					6
Centre de tri	Recyclage		3	3	3	3		12
Polystyvert	Recyclage						3	3
Consigne	Recyclage					3		3
Lieu d'enfouissement technique	Élimination	1	1	1	1	1	1	6
Production d'énergie récupérée								-
Total								36

Classe : Pointage : 36 points et plus

Cote : 5

5.6.5 Impact environnemental

Le compostage de matière organique produit des émissions directes de GES. Pour réaliser l'analyse, les équations des émissions GES attribuables au traitement de matières résiduelles organiques par compostage du MELCC (2019a) ont été utilisées. Les données sont présentées au tableau 5.12.

Tableau 5.12 Émissions GES directes du compostage (inspiré de : GIEC, 2006; GIEC, 2007; MELCC, 2019a)

GES	Quantité de matières organiques en 12 jours (t)	Facteur d'émission (kg/t de MR)	Potentiel de réchauffement	Équivalent CO ₂ (kg)
CH ₄	1,164	0,4	25	11,7
N ₂ O	1,164	0,24	298	83,2
Total d'écO₂				94,9 kg écO₂

Du côté des émissions indirectes, le composteur consomme 15,6 kWh en 12 jours, ce qui provoque 10,5 kg écO₂. Les émissions totales du composteur sont estimées à 105 kg écO₂.

Classe : Entre 101 et 1 000 kg d'écO₂

Cote : 3

5.6.6 Synthèse du composteur

La note totale du composteur est présentée au tableau 5.13 :

Tableau 5.13 Résultats de l'analyse multicritère : composteur

Critère	Classe obtenue	Cote
Risque pour la santé et sécurité	Pointage : 12 à 13	4
Économie d'espace	< 0 %	1
Coûts associés sur 5 ans	Entre 200 000,01 \$ et 250 000,00 \$	2
Potentiel de valorisation	Pointage : 36 points et plus	5
Impact environnemental	Entre 101 et 1 000 kg d'éCO ₂	3
TOTAL		15

Le composteur n'obtient pas un pointage très élevé. Mis à part le potentiel de valorisation qu'il permet et le faible risque pour la santé et sécurité des matelots qu'il encourt, il n'offre aucune économie d'espace puisqu'il est plus volumineux que l'espace nécessaire pour entreposer la matière organique. Aussi, il ne permet pas un retour sur investissement sur 5 ans et émet une bonne quantité d'éCO₂. Quand même, il faut garder en tête que ces émissions auraient été émises au centre de compostage, alors peut-être qu'elles ne font qu'être déplacées sur la chaîne de la fin de vie des matières organiques à bord.

5.7. Déshydrateur

Un déshydrateur permet de chauffer et malaxer de la matière organique de manière à en retirer l'eau qu'elle contient et ainsi la transformer en biomasse sous forme de poudre. Le modèle étudié est le GAIA GC100 (figure 5.8 b). Celui-ci accepte 50 kg de matières organiques et la transforme en matière sèche, stérile et inodore en huit heures (ecoVRS, 2020). L'appareil fonctionne malgré la présence d'emballages, mais produira une finalité de moindre qualité. (Voghel inc., 2019) Ceci ne sera pas un problème dans l'analyse présente puisqu'il a été présumé que les flux de matières organiques de contiennent aucun contaminant.

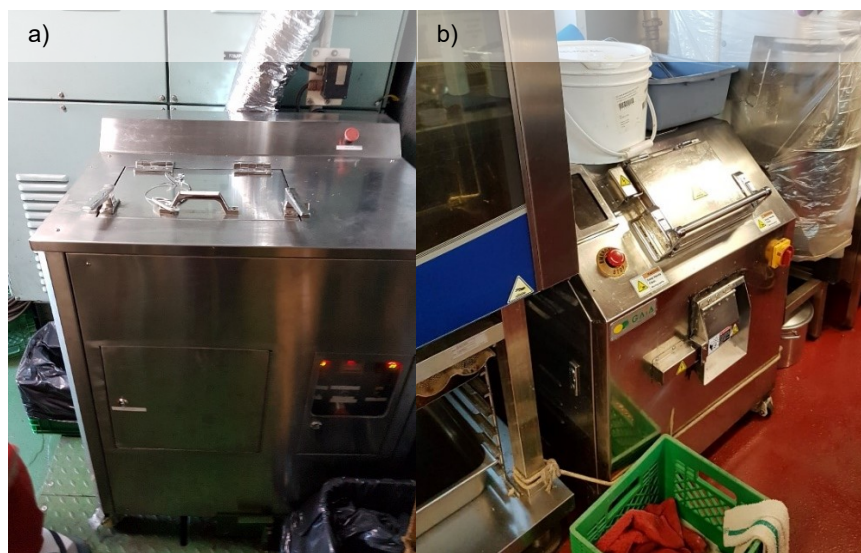


Figure 5.8 Déshydrateurs (tiré de : CSL Group, 2019 c)

5.7.1 Risques pour la santé et sécurité

De manière similaire au composteur, le déshydrateur inhibe certains risques liés à l'entreposage des matières organiques : la contamination par les microorganismes et les odeurs malodorantes. D'un autre côté, il s'agit d'un appareil électrique, donc comprenant le risque de décharge électrique. De plus, l'appareil cause un bruit durant son opération de six heures par jour et sans doute les risques liés au travail dans un endroit confiné parce qu'il est situé à l'intérieur du navire. La synthèse des risques pour la santé et la sécurité est présentée à l'annexe 3.

Pointage : 15 points

Classe : Pointage : 14 à 15 points

Cote : 3

5.7.2 Économie d'espace à bord

Le déshydrateur permet de réduire le volume de matières organiques de 80 % (Voghel inc., 2019), mais requiert 1,12 m³ d'espace (ecoVRS, 2020). Ainsi, l'espace nécessaire pour entreposer les matières organiques diminue à 0,788 m³, mais 1,12 m³ s'ajoute à l'espace d'entreposage total. L'espace d'entreposage passe de 18,1 m³ à 16,0 m³, soit une économie de 12 %.

Classe : 1 à 25 %

Cote : 3

5.7.3 Coûts associés sur 5 ans

Le déshydrateur à l'étude coûte 42 460,80 \$, selon RecyclingWorks (2015). Le déshydrateur consomme 0,5 kW/kg de matière organique (Voghel inc., 2019). Comme un navire de taille moyenne à 21 membres d'équipage produit 97,0 kg/jour de matière organique et qu'un cycle traitant 50kg prend en moyenne huit heures (Voghel inc., 2019), deux cycles sont nécessaires par jour. Le déshydrateur consomme 25 kW par cycle, donc 50 kW par jour ou 3,13 kWh. Les coûts associés sur 5 ans s'élèvent à 210 111,11 \$ (annexe 4).

Classe : Entre 200 000,01 \$ et 250 000,00 \$

Cote : 2

5.7.4 Potentiel de valorisation

Tout comme le compost domestique, les matières organiques déshydratées semblent être acceptées aux centres de compostage et biométhanisation, comme il n'y a rien eu dans la recherche documentaire qui a dit le contraire. Le pointage total est donc de 36 points (tableau 5.14).

Tableau 5.14 Potentiel de valorisation du déshydrateur

Voies de traitement	3RV-E	Matière résiduelle — finalités						Pointage
		Matière organique déshydratée	Papier et carton	Plastique	Verre	Métaux recyclables	Déchets domestiques	
Compostage	Recyclage	3	3					6
Biométhanisation	Recyclage	3	3					6
Centre de tri	Recyclage		3	3	3	3		12
Polystyvert	Recyclage						3	3
Consigne	Recyclage					3		0
Lieu d'enfouissement technique	Élimination	1	1	1	1	1	1	6
Production d'énergie récupérée								-
Total								36

Classe : Pointage : 36 points et plus

Cote : 5

5.7.5 Impact environnemental

Les émissions directes attribuables à la déshydratation des matières organiques ne sont pas spécifiées dans le guide du MELCC (2019a). Afin de poursuivre l'analyse, une estimation des émissions directes a été effectuée en utilisant les équations des émissions attribuables au compostage. En effet, bien que la déshydratation n'équivaille pas au compostage, elle lui ressemble sur plusieurs points justifiant l'estimation. La déshydratation, comme le compostage, est réalisée à l'aide de chaleur, comporte du brassage et produit un extrant stable. Les données et résultats de l'estimation se situent au tableau 5.15.

Tableau 5.15 Émissions GES directes (estimation) du déshydrateur (inspiré de : GIEC, 2006; GIEC, 2007; MELCC, 2019a)

GES	Quantité de matières organiques en 12 jours (t)	Facteur d'émission (kg/t de MR)	Potentiel de réchauffement	Équivalent CO ₂ (kg)
CH ₄	1,164	0,4	25	11,7
N ₂ O	1,164	0,24	298	83,2
Total d'éCO₂				94,9 kg éCO₂

En addition aux émissions directes, l'utilisation d'énergie (600 kWh) émet 406 kg éCO₂ indirects. Ainsi, le déshydrateur émet 500 kg d'éCO₂ en 12 jours.

Classe : Entre 101 et 1 000 kg d'éCO₂

Cote : 3

5.7.6 Synthèse du déshydrateur

La note totale du déshydrateur est présentée au tableau 5.16 :

Tableau 5.16 Résultats de l'analyse multicritère : déshydrateur

Critère	Classe obtenue	Cote
Risque pour la santé et sécurité	Pointage : 14 à 15	3
Économie d'espace	1 à 25 %	3
Coûts associés sur 5 ans	Entre 200 000,01 \$ et 250 000,00 \$	2
Potentiel de valorisation	Pointage : 36 points et plus	5
Impact environnemental	Entre 101 et 1 000 kg d'éCO ₂	3
TOTAL		16

Le déshydrateur obtient des résultats similaires que le composteur. Son seul pointage élevé est le potentiel de valorisation des matières résiduelles qu'il permet. Sinon, tous les autres pointages sont plutôt moyens ou bas. Il est moyennement risqué pour les matelots et n'offre une petite économie d'espace. Sur 5 ans, il n'y a pas de retour sur investissement. Sinon, le déshydrateur émet une certaine quantité de GES. Le même raisonnement qu'avec le composteur s'applique aux émissions de GES du déshydrateur : peut-être que les émissions sont seulement déplacées sur la chaîne de la fin de vie des matières organiques.

5.8. Incinérateur

Un incinérateur effectue une combustion contrôlée à l'aide de carburant et d'électricité. Il est généralement utilisé pour détruire les déchets domestiques et des résidus huileux. Cependant, il peut aussi brûler le papier et carton, les matières organiques et le plastique. Les incinérateurs sont grandement régulés par l'OMI avec la Règle 16 de MARPOL. (ABS, 2012; National Research Council, 1995) Ainsi, il est interdit de brûler certains plastiques. Il devient donc plus sûr de n'incinérer aucun plastique puisque les équipages n'ont généralement pas les compétences pour différencier les différents types de plastiques (CE Delft et CHEW, 2017). L'incinérateur sélectionné pour l'analyse correspond au modèle de la figure 5.9, soit le OG200/400CS de TeamTec. Il est conçu pour brûler des matières solides et des résidus huileux (sludge) (TeamTec, 2019). L'incinérateur brûle les matières à un rythme de 50 kg/h. Ceci peut être plus long pour les matières organiques contenant une grande teneur en eau, mais cette différence ne sera pas intégrée à l'analyse à cause d'un manque de données.



Figure 5.9 Incinérateur (tiré de : CSL Group, 2019 c)

5.8.1 Risques pour la santé et sécurité

L'incinérateur peut faire encourir plusieurs risques de santé à l'équipage. En effet, une combustion incomplète des matières résiduelles peut entraîner la formation de dioxines (Lutto, 2001). Les dioxines sont un groupe de composés organiques parfois toxiques s'insérant dans les chaînes trophiques en s'accumulant dans les graisses. Ceux-ci peuvent causer plusieurs problèmes chez les humains (problèmes de procréation, heurter le système immunitaire et perturber le système hormonal). (Organisation mondiale de la Santé, 2020) La combustion peut aussi émettre des particules atmosphériques. Malgré plusieurs émissions de la part de l'incinérateur, celui-ci est construit de manière à évacuer les extrants atmosphériques des combustions à l'extérieur du navire, de manière à protéger l'équipage des inhalations (Avellaneda et al., 2011). Tout de même, les risques liés à l'exposition à des produits de combustion dans l'air sont pris en compte dans l'analyse, puisqu'ils restent bien présents. Il y a un risque d'incendie puisqu'il s'agit d'un appareil de combustion. Aussi, l'incinérateur utilise de l'énergie électrique, il y a donc un risque de décharge électrique. L'incinérateur comprend un réservoir à carburant nécessaire à son alimentation. Dans l'éventualité où il y a une fuite du réservoir, les matelots prennent le risque de glisser et tomber sur le sol. Comme les matières organiques sont brûlées, le risque de contamination par microorganismes et de mauvaises odeurs ne sont pas présents. La synthèse des risques pour la santé et la sécurité est présentée à l'annexe 3.

Pointage : 19 points

Classe : Pointage : 18 points et plus

Cote : 1

5.8.2 Économie d'espace à bord

Selon Environnement Canada (2013a), pour chaque 1 000 kg de matières résiduelles incinérées, 300 kg de cendres sont produits, donc une réduction de 70 % de la masse. L'incinération peut réduire le volume des matières résiduelles par 95 % (Encyclopedia.com, 2020), ou réduire de 90 % le volume du papier et plastique (Lutto, 2001). La moyenne des trois valeurs précédentes a été utilisée pour réaliser l'analyse, soit 85 %. L'incinérateur nécessite 6,32 m³ d'espace (TeamTec, s.d.). L'incinérateur offre une économie d'espace de 41 %, alors que le nouveau volume d'entreposage combiné au volume de l'appareil est 10,7 m³.

Classe : 26 à 50 %

Cote : 4

5.8.3 Coûts associés sur 5 ans

Le prix d'achat de l'incinérateur a été récupéré auprès d'un document de la marine américaine. Celui-ci propose plusieurs modèles d'incinérateur. Le prix du plus petit modèle a été utilisé puisque la capacité et la taille requises selon notre étude sont encore plus petites que le modèle le plus petit du document. Ainsi, le prix d'achat estimé est de 199 035,00 \$ (Committee on Shipboard Pollution Control et al., 1996).

L'incinérateur utilise une puissance de 15 kW et 14 kg/h de combustible. Il brûle 50 kg/h de matières. (TeamTec, s.d.) En 12 jours, 3 701 kg de papier et carton, matières organiques et déchets domestiques doivent être brûlés, ce qui se traduit en 74 heures d'opération de l'incinérateur. En 74 heures d'opération, l'appareil consomme donc 1 110 kWh et 1 036 kg de carburant.

Les coûts associés sur 5 ans sont donc 380 018,01 \$ (annexe 4).

Classe : 250 000,01 \$ et plus

Cote : 1

5.8.4 Potentiel de valorisation

Comme mentionné à l'annexe 5, les cendres et mâchefers d'incinérateurs peuvent être utilisés comme additifs à différents matériaux de construction (Guibault, 2013), mais le marché montréalais n'est pas développé de manière à permettre aux armateurs d'y participer. Ainsi, les cendres sont destinées aux lieux d'enfouissement technique ce qui diminue le pointage à 16 points (tableau 5.17). La production de vapeur n'est pas considérée dans le pointage puisque celle-ci n'est pas récupérée.

Tableau 5.17 Potentiel de valorisation de l'incinérateur

Voies de traitement	3RV-E	Matière résiduelle — finalités				Pointage
		Cendres — mâchefers	Plastique	Verre	Métaux recyclables	
Compostage	Recyclage					0
Biométhanisation	Recyclage					0
Centre de tri	Recyclage		3	3	3	9
Polystyvert	Recyclage				3	3
Consigne	Recyclage					0
Lieu d'enfouissement technique	Élimination	1	1	1	1	4
Production d'énergie récupérée						-
Total						16

Classe : Pointage : 9 à 17 points

Cote : 2

5.8.5 Impact environnemental

Le guide de quantification du MELCC offre une procédure de calculs de GES produits par l'incinération des matières résiduelles municipales. C'est cette procédure qui a été suivie pour déterminer l'impact environnemental de l'incinérateur. Ainsi, les équations de CO₂ (non biogénique), de CH₄ et de N₂O attribuables à l'incinération de matières résiduelles municipales du MELCC (2019a) ont été utilisées. Comme la procédure n'inclut pas les émissions des contributeurs indirects (NO_x et CO), celles-ci ne font pas partie du calcul. Les données et les résultats sont présentés au tableau 5.18.

Tableau 5.18 Émissions GES directes de l'incinérateur (inspiré de : GIEC, 2006; GIEC, 2007; MELCC, 2019a; *Règlement sur la déclaration obligatoire de certaines émissions de contaminants dans l'atmosphère*)

GES	Quantité de matières résiduelles incinérées en 12 jours (t)	Proportion de matière organique du total de MR incinérée	Facteur d'émission (kg/GJ)	Pouvoir calorifique supérieur des MR (GJ/t de MR)	Facteur d'oxydation	Potentiel de réchauffement	Équivalent CO ₂ (kg)
CO ₂	3,70	31 %	85,6	11,57	1	1	2 528
GES	Quantité de matières résiduelles incinérées en 12 jours (t)		Facteur d'émission (kg/t de MR)			Potentiel de réchauffement	Équivalent CO ₂ (kg)
CH ₄	3,70		0,3471			25	32,1
N ₂ O	3,70		0,148			298	163
Total d'écO ₂							2 723 kg écO ₂

Considérant que 3,70 tonnes de matières résiduelles doivent être brûlées en 12 jours, 2 723 kg éCO₂ sont émis. Après, il faut additionner les émissions indirectes produites par la consommation d'électricité et de carburant de l'incinérateur. L'appareil consomme 1 110 kWh et 1 036 kg de carburant en 12 jours, pour un total de 1 279 L de carburant total (densité de 993 g/L [Statistique Canada, 2012], résultant en 0,212 L/kWh). Ainsi, la consommation énergétique de l'incinérateur produit 4 075 kg éCO₂ indirects. Le total estimé de l'impact environnemental de l'incinérateur pour 12 jours est donc de 6 798 kg éCO₂.

Classe : 2 001 kg d'éCO₂ et plus
Cote : 1

5.8.6 Synthèse de l'incinérateur

La note totale de l'incinérateur est présentée au tableau 5.19 :

Tableau 5.19 Résultats de l'analyse multicritère : incinérateur

Critère	Classe obtenue	Cote
Risque pour la santé et sécurité	Pointage : 18 ou plus	1
Économie d'espace	26 à 50 %	4
Coûts associés sur 5 ans	250 000,01 \$ et plus	1
Potentiel de valorisation	Pointage : 9 à 17 points	2
Impact environnemental	2 001 kg d'éCO ₂ et plus	1
TOTAL		9

L'incinérateur obtient un des pointages les moins élevés. Mis à part l'économie d'espace à bord, il réduit le potentiel de valorisation des matières résiduelles. En effet, la cendre n'est pas valorisable selon les voies de traitement incluses dans l'étude. Sinon, les autres critères obtiennent les pointages les plus bas. D'abord, il est un appareil très risqué pour la santé et la sécurité des matelots à cause des risques liés à la combustion et la consommation de carburant. Ensuite, il n'offre pas de retour sur investissement en 5 ans. Il a d'ailleurs le deuxième prix d'achat le plus élevé des modes de gestion. Finalement, il émet une des plus grandes quantités d'émissions de GES de tous les modes de gestion.

5.9. Gazéificateur MAGS

Le système de microautogazéification de Terragon (figure 5.10), compagnie montréalaise, détruit les déchets domestiques, le papier et carton, le plastique et les matières organiques par pyrolyse. Ce mécanisme produit de l'eau condensée, des effluents gazeux, de l'énergie thermique et du biochar (résidus en grain de biomasse). Les matières résiduelles sont insérées dans l'appareil, puis chauffées à haute température (650 °C) avec peu d'oxygène. La chaleur brise les matières en des résidus carbonés et des effluents gazeux. Les effluents gazeux, ou gaz synthétiques sont ensuite dirigés vers la chambre de combustion où ils sont brûlés avec de l'air pour former de l'eau et du gaz d'échappement qui sera par la

suite utilisé pour créer de l'énergie thermique. Finalement, les effluents gazeux restants sont nettoyés des particules résiduelles afin d'être relâchés dans l'atmosphère. (Terragon, 2018)

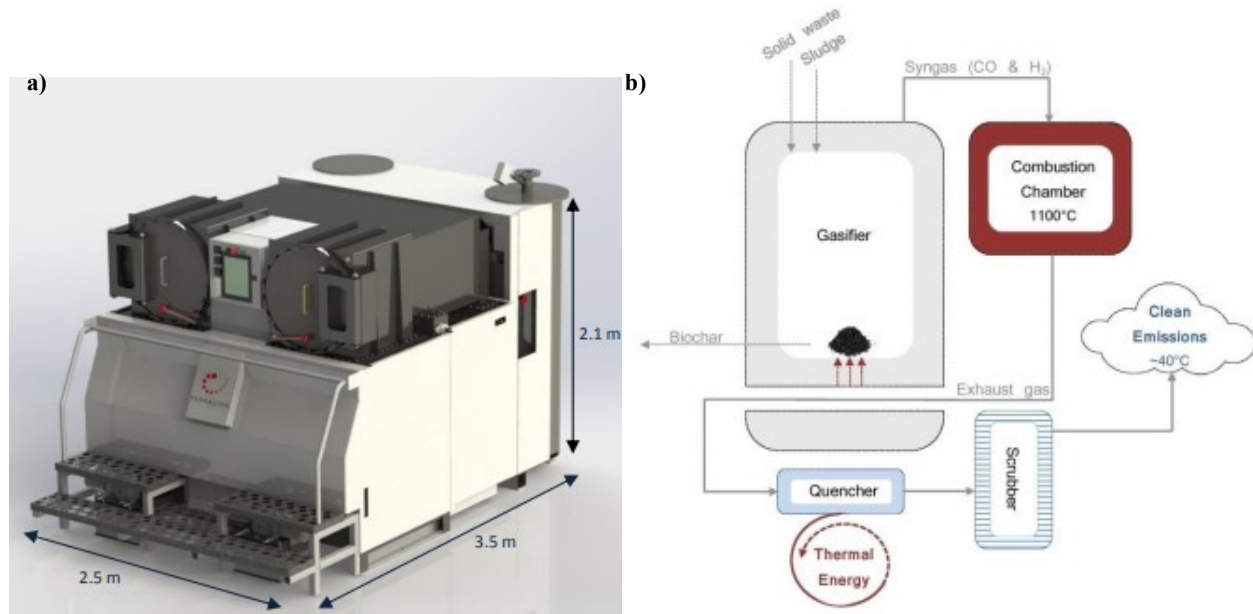


Figure 5.10 Système de microautogazéification MAGS (tiré de : Terragon, 2018)

5.9.1 Risques pour la santé et sécurité

Les risques pour la santé et la sécurité des matelots sont les mêmes que ceux de l'incinérateur. Le MAGS comporte un segment d'opération traitant le gaz d'échappement de manière à éviter la formation de dioxines et furanes (Terragon, 2017). Tout de même, le risque de formation de tels composés est considéré dans l'analyse. L'analyse prend aussi en compte les risques d'incendie comme l'appareil effectue des combustions. Les risques de brûlure au touché de l'appareil sont aussi considérés, en addition au risque de décharge électrique puisque le MAGS consomme de l'électricité. Du carburant est aussi requis au démarrage de la combustion ce qui signifie que le risque de glisser sur le sol de manière tel qu'expliqué pour l'incinérateur. Malgré cela, les risques liés à l'entreposage de matière organique ne sont plus présents. La synthèse des risques pour la santé et la sécurité est présentée à l'annexe 3.

Pointage : 19 points

Classe : Pointage : 18 points ou plus

Cote : 1

5.9.2 Économie d'espace à bord

Le MAGS convertit les matières résiduelles en biochar à 5 % de leur volume initial. Le volume d'entreposage total devient 1,67 m³. Le MAGS peut prendre plusieurs configurations. La configuration offrant le volume le plus bas est 10 m³. Ce volume s'ajoute au nouveau volume d'entreposage de sorte que l'espace nécessaire

à bord devient 11,7 m³. (Terragon, 2018; Terragon, 2020) Ainsi, le MAGS offre une économie d'espace de 35 %.

Classe : 26 à 50 %

Cote : 4

5.9.3 Coûts associés sur 5 ans

Terragon a indiqué le prix d'une série d'équipement traitant les eaux usées et ordures d'un navire, incluant le MAGS. Le prix s'élève à 390 000,00 \$ pour la série de quatre équipements (Terragon, 2015). Pour réaliser cette analyse, le prix estimé du MAGS correspond au quart du prix de la série. Ici, le MAGS coûte donc 97 500,00 \$.

Le MAGS traite 50 kg/h de matière. En 12 jours, 4 864 kg de papier et carton, plastique, matières organiques et déchets domestiques doivent être traités, ce qui résulte en 97 heures d'activités de l'appareil. La consommation électrique du MAGS, utilisant une puissance de 22 kW, est de 2 134 kWh. Le MAGS consomme aussi du carburant afin de démarrer la combustion. À chaque utilisation, 17,25 litres sont nécessaires. (Terragon, 2018) La densité du mazout lourd est de 993 g/L, selon Statistique Canada (2018). Donc, le MAGS nécessite 17,1 kg de carburant ou 0,017 1 t pour une utilisation. Le MAGS peut traiter une tonne par jour (Terragon, 2020), 5 jours sont donc nécessaires pour traiter les matières générées en 12 jours. Si le MAGS est mis en marche une fois par jour, 0,085 5 t de carburant sont requises en 12 jours. Le total des coûts sur 5 ans s'élève à 227 486,90 \$ (annexe 4).

Classe : Entre 200 000,01 \$ et 250 000,00 \$

Cote : 2

5.9.4 Potentiel de valorisation

De manière similaire aux cendres d'incinérateur, le biochar peut servir d'additif aux amendements de sol lorsque celui-ci est exclusivement organique (Biopterre, 2018). Considérant que d'autres matières résiduelles sont traitées dans le MAGS, le biochar ne sera pas exclusivement organique. Dans ce cas, le biochar est destiné aux sites d'enfouissement. Sinon, le MAGS traite presque toutes les matières, ce qui diminue son pointage. Celui-ci obtient tout de même deux points supplémentaires puisque le MAGS récupère le gaz synthétique produit par la gazéification et le réutilise pour alimenter l'appareil en énergie (Terragon, 2018). Le pointage s'élève donc à 14 points (tableau 5.20).

Tableau 5.20 Potentiel de valorisation du MAGS

Voies de traitement	3RV-E	Matière résiduelle — finalités			Pointage
		Biochar	Verre	Métaux recyclables	
Compostage	Recyclage				0
Biométhanisation	Recyclage				0
Centre de tri	Recyclage		3	3	6
Polystyvert	Recyclage			3	3
Consigne	Recyclage				0
Lieu d'enfouissement technique	Élimination	1	1	1	3
Production d'énergie récupérée					2
Total					14

Classe : Pointage : 9 à 17 points

Cote : 2

5.9.5 Impact environnemental

La transformation de matières résiduelles municipales par la gazéification ne fait pas partie du guide de quantification du MELCC. Ainsi, il faut se fier aux concentrations d'émissions atmosphériques de l'appareil publiées par son fabricant (Terragon, 2018). Selon les données fournies par le fabricant, MAGS ne produit que du NO_x et du CO, des émissions directes importantes dans l'analyse. Il s'agit de deux contributeurs indirects. La quantité d'équivalents CO₂ qu'ils produisent a été obtenue grâce à l'équation de l'émission du composé attribuable à l'incinération de matières résiduelles municipales calculées selon des données de concentrations dans le gaz de fumée du MELCC (2019a). Cette équation requiert le volume d'effluents gazeux sortant du MAGS, soit 5,6 m³ par minute. Pour 4,86 t de matières résiduelles à traiter, 97 heures d'opération sont nécessaires. Ainsi, 32 592 m³ d'effluent sont produits. Ensuite, les émissions ont été ramenées en équivalent CO₂ à l'aide de leur potentiel de réchauffement climatique (GIEC, 2007; MELCC, 2019a). Sinon, les composés présents en trace dans les effluents n'ont pas été inclus dans le calcul (dioxyde de soufre, chlorure d'hydrogène, gaz organiques, acide fluorhydrique, dioxines et furanes, cadmium, mercure et plomb). Les émissions directes sont présentées au tableau 5.21.

Tableau 5.21 Émissions GES directes du MAGS (inspiré de : GIEC, 2007; MELCC, 2019; Terragon, 2018)

Contributeurs indirects	Quantité de matières résiduelles incinérées en 12 jours (t)	Concentrations dans le gaz effluent (mg/m ³)	Volume du gaz (m ³ /t)	Potentiel de réchauffement	Équivalent CO ₂ (kg)
NO_x	4,86	112	32 592	25	444
CO	4,86	34	32 592	1,9	10,2
Total d'écO ₂					454 kg écO₂

Pour un total de 12 jours, 454 kg écO₂ directes sont émis par le MAGS. Du côté de la consommation énergétique et des émissions indirectes, le MAGS consomme 1 672 kWh et 86 L en 12 jours. Ceci se traduit en 440 L, et donc en 1 404 kg écO₂. Au total, le MAGS émet près de 1 858 kg écO₂ sur un cycle de 12 jours.

Classe : Entre 1 001 et 2 000 kg d'écO₂

Cote : 2

5.9.6 Synthèse du MAGS

La note totale du MAGS est présentée au tableau 5.22 :

Tableau 5.22 Résultats de l'analyse multicritère : MAGS

Critère	Classe obtenue	Cote
Risque pour la santé et sécurité	Pointage : 18 ou plus	1
Économie d'espace	26 à 50 %	4
Coûts associés sur 5 ans	Entre 200 000,01 \$ et 250 000,00 \$	2
Potentiel de valorisation	Pointage : 9 à 17 points	2
Impact environnemental	Entre 1 001 et 2 000 kg d'écO ₂	2
TOTAL		11

Le MAGS obtient un pointage plus élevé que celui de l'incinérateur, mais plus bas que tous les autres modes de gestion. Ceci s'explique notamment par son risque élevé pour la santé et sécurité des matelots, lié à la combustion et l'émission potentiel de dioxines et furanes. Il n'offre pas de retour sur investissement sur 5 ans, mais reste plus abordable que l'incinérateur et le PAWDS. Le MAGS réduit le potentiel de valorisation des matières résiduelles selon les voies de traitement de l'étude et émet une certaine quantité d'équivalents CO₂. Néanmoins, il permet une bonne économie d'espace à bord. Le MAGS pourrait devenir envisageable si une voie de traitement recyclant le biochar devenait accessible dans les prochaines années.

5.10. Système de destruction des déchets au plasma d'arc (PAWDS)

Le système de destruction des déchets au plasma d'arc (PAWDS) utilise le plasma, un gaz hautement ionisé à très haute température (Lutto, 2001), pour détruire les déchets domestiques, le papier et carton, le plastique et les matières organiques. Conçu à Montréal par PyroGenesis Canada inc., le PAWDS peut aussi détruire les huiles usées et les boues d'épuration du navire. L'appareil combine plusieurs procédés (figure 5.11) de manière à insérer les matières résiduelles sans les trier préalablement. D'abord, les matières résiduelles sont déchiquetées et broyées avant d'être dirigées dans la chambre de combustion au plasma. Le chauffage par plasma des matières broyées les gazéifie. Ensuite, le gaz synthétique résultant est mélangé avec de l'air dans une deuxième chambre de combustion, formant un effluent gazeux complètement oxydé composé de dioxyde de carbone et d'eau. Cet effluent est par après refroidi rapidement à l'eau afin de prévenir la formation de dioxines et furanes. Finalement, l'effluent gazeux est nettoyé de ses particules résiduelles avant d'être libéré dans l'atmosphère. (Chronopoulos et al., 2005; Kaldas et al., 2006; Kaldas et Alexander, 2008; PyroGenesis Canada inc., 2020) Les rejets sont des vapeurs d'eau et du dioxyde de carbone ainsi que des scories (similaires à des cendres) entreposées à bord (Lutto, 2001). Il n'y a aucune donnée sur la quantité de scories produite par quantité de matière organique détruite par le PAWDS.

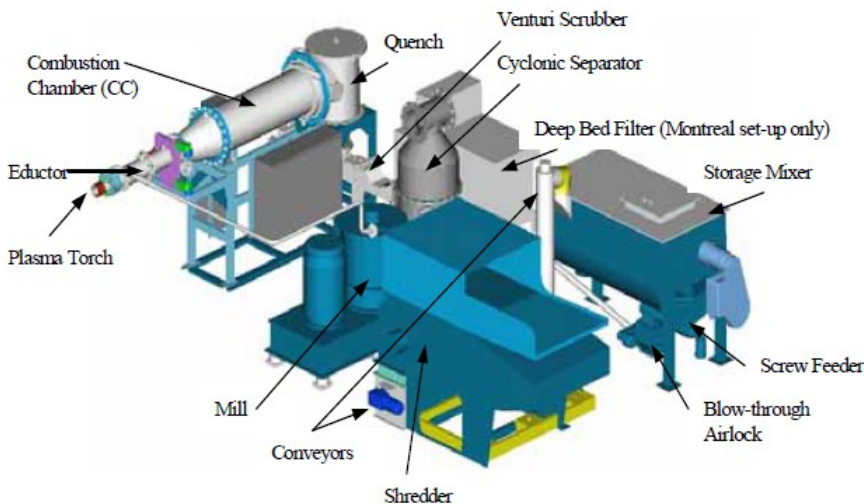


Figure 5.11 Système de destruction des déchets au plasma d'arc (PAWDS) (tiré de : Chronopoulos et al., 2005)

5.10.1 Risques pour la santé et sécurité

Les risques pour la santé et la sécurité des matelots sont les mêmes que ceux de l'incinérateur et du MAGS. Bien que PAWDS ait un système empêchant la formation de dioxines et furanes et d'autres émissions de produits de combustion thermique (PyroGenesis Canada inc., 2020), il y a tout de même un risque notamment dans le cas d'un mal fonctionnement (Lutto, 2001). L'entreprise assure qu'il n'y a aucune

signature de chaleur associée ou de risque d'incendie (PyroGenesis Canada inc., 2017). Malgré cela, l'analyse comptabilise les risques de brûlures et de feu parce que l'appareil utilise un système de combustion. La décharge électrique est aussi prise en considération puisque le PAWDS est alimenté à l'électricité. D'un autre côté, PAWDS évite le risque de contamination par microorganismes et des mauvaises odeurs en détruisant la matière organique. La seule différence entre les risques du PAWDS, les risques de l'incinérateur et ceux du MAGS est le risque de glisser sur le pont. En effet, l'incinérateur et le MAGS nécessitent du carburant pour s'actionner, il y a donc un réservoir près de l'appareil. Dans l'éventualité d'une fuite du réservoir, le carburant peut rendre le plancher glissant s'il coule sur celui-ci, ce qui n'arrivera jamais avec le PAWDS. La synthèse des risques pour la santé et la sécurité est présentée à l'annexe 3.

Pointage : 18

Classe : Pointage : 18 points ou plus

Cote : 1

5.10.2 Économie d'espace à bord

La documentation du fabricant n'offre aucun ratio de compaction des matières résiduelles. Puisque le PAWDS a un procédé et une finalité similaires au MAGS, le ratio du MAGS a été repris pour le PAWDS. Ainsi, les matières sont converties en scories à 5 % du volume initial. Le volume d'entreposage se voit donc réduire à 1,67 m³ auquel s'ajoute l'espace requis pour l'appareil (52,7 m³). Il est important de noter que le PAWDS peut prendre plusieurs configurations dont certaines réduisent l'espace nécessaire à son opération. (Kaldas et al., 2006; PyroGenesis Canada inc., 2017) Le volume d'entreposage final est de 54,4 m³, soit une augmentation de 201 %.

5.10.3 Coûts associés sur 5 ans

Aucune indication du prix du PAWDS n'a été trouvée dans la recherche documentaire. Tout de même, le document de Delitek (2015) offre un montant jusqu'où peut s'élever le prix d'un appareil de gazéification de matières résiduelles. Comme le PAWDS est l'appareil le plus gros et ayant le procédé le plus complexe incluant une lampe au plasma, le prix le plus élevé de Delitek devient le prix utilisé ici. Ainsi, le PAWDS coûte 297 120,00 \$.

Le PAWDS traite 182 kg/h de matière avec une puissance de 300 kW (Kaldas et al., 2006; Kaldas et Alexander, 2008). Pour 4 864 kg de matière à traiter en 12 jours, 27 heures d'opération sont nécessaires. L'appareil consomme donc 8 100 kWh pour un volume de matières résiduelles de 12 jours. La consommation énergétique et le prix d'achat produisent un coût associé sur 5 ans de 490 270,66 \$.

Classe : 250 000,01 \$ et plus

Cote : 1

5.10.4 Potentiel de valorisation

La même situation qu'avec l'incinérateur et le MAGS s'applique au PAWS. Les scories peuvent être valorisées en additifs au béton (Munez, 2015), mais le marché montréalais n'est pas adéquat à la participation des armateurs. Sinon, le PAWDS produit un gaz synthétique pouvant être converti en électricité avec une efficacité de 40 %, d'où les deux points supplémentaires au pointage (PyroGenesis Canada inc., 2012). Celui-ci s'élève donc à 14 points (tableau 5.23).

Tableau 5.23 Potentiel de valorisation du PAWDS

Voies de traitement	3RV-E	Matière résiduelle — finalités			Pointage
		Scories	Verre	Métaux recyclables	
Compostage	Recyclage				0
Biométhanisation	Recyclage				0
Centre de tri	Recyclage		3	3	6
Polystyvert	Recyclage			3	3
Consigne	Recyclage				0
Lieu d'enfouissement technique	Élimination	1	1	1	3
Production d'énergie récupérée					2
Total					14

Classe : Pointage : 9 à 17 points

Cote : 2

5.10.5 Impact environnemental

Le PAWDS produit des émissions GES avec des contributeurs directs (CO₂) et indirects (NO_x et CO), ainsi que des émissions indirectes avec la consommation d'énergie. Le fabricant du PAWDS partage les émissions atmosphériques directes de son appareil (Kaldas et Alexander, 2008) (tableau 5.24) en partie par million par volume (ppmv). Afin de les convertir en mg/m³ (nécessaire pour la procédure du MELCC), la formule suivante a été utilisée. Pour faciliter les calculs avec une masse molaire définitive, les oxydes d'azote (NO_x) sont considérés comme des dioxydes d'azote (NO₂).

$$mg/m^3 = ppmv \cdot \frac{M}{(R \cdot T)}$$

R = constante universelle des gaz parfaits = 0,082 057 338 L atm mol⁻¹ K⁻¹

T = température ambiante à 20 °C (Kaldas et Alexander, 2008) = 293 K

M = Masse molaire du composé g/mol

Pour sa part, le CO₂ est donné en pourcentage (7,9 %). Ce pourcentage est interprété par la confirmation que l'appareil produit du CO₂. Le CO₂ sera donc calculé à l'aide de l'équation du CO₂ non biogénique attribuable à l'incinération des matières résiduelles municipales du MELCC (2019a). Le fabricant du PAWDS ne mentionne aucune émission de CH₄ ou de N₂O, ceux-ci ne font donc pas partie du calcul de l'impact environnemental de l'appareil. Plusieurs autres composés sont émis par le PAWDS tels le chlorure d'hydrogène (HCl), les oxydes de soufre (SO_x) et les dioxines et furanes. (Kaldas et Alexander, 2008) Toutefois, ces composés sont négligés puisqu'ils ne sont présents qu'en trace dans l'effluent gazeux, de sorte que leur inclusion dans le calcul n'aura aucune incidence sur le résultat final en équivalent CO₂.

Il n'y a aucune indication dans la documentation fournissant le volume d'effluent gazeux sortant du PAWDS. Dans le but de réaliser l'analyse, le volume du MAGS sera utilisé comme les deux technologies sont similaires à plusieurs niveaux. Ainsi, 5,3 m³/min d'effluents gazeux sont estimés (Terragon, 2018), ce qui résulte en 8 586 m³ pour 4,86 t de matières résiduelles à traiter. Les données et calculs des GES sont présentés au tableau 5.24.

Tableau 5.24 Impact environnemental du PAWDS (inspiré de : GIEC, 2006; GIEC, 2007; MELCC, 2019a; *Règlement sur la déclaration obligatoire de certaines émissions de contaminants dans l'atmosphère*)

Contributeur direct	Quantité de MR incinérées en 12 jours (t)	Proportion de matière organique incinérée	Facteur d'émission (kg/GJ)	Pouvoir calorifique supérieur des MR (GJ/t de MR)	Facteur d'oxydation	Potentiel de réchauffement	Équivalent CO ₂ (kg)
CO ₂	4,86	24 %	85,6	11,57	1	1	3 658
Contributeurs indirects	Quantité de matières résiduelles incinérées en 12 jours (t)		Concentrations dans le gaz effluent (mg/m ³)		Volume du gaz (m ³ /t)	Potentiel de réchauffement	Équivalent CO ₂ (kg)
NO _x	4,86		312		1 767	25	67,0
CO	4,86		119		1 767	1,9	1,94
Total d'éCO ₂							3 727 kg éCO₂

L'élimination des matières résiduelles par le PAWDS produit 3 727 kg écO₂ aux 12 jours. Ceci doit être additionné aux émissions indirectes de la consommation énergétique de l'appareil, soit 8 100 kWh. L'utilisation de carburant produit 5 474 kg écO₂. Au total, le PAWS émet près de 9 201 kg écO₂.

Classe : 2 001 kg d'écO₂ et plus
Cote : 1

5.10.6 Synthèse du PAWDS

La note totale du PAWDS est présentée au tableau 5.25 :

Tableau 5.25 Résultats de l'analyse multicritère : PAWDS

Critère	Classe obtenue	Cote
Risque pour la santé et sécurité	Pointage : 18 ou plus	1
Économie d'espace	< 0 %	1
Coûts associés sur 5 ans	250 000,01 \$ et plus	1
Potentiel de valorisation	Pointage : 9 à 17 points	2
Impact environnemental	2 001 kg d'écO2 et plus	1
TOTAL		6

Le PAWDS obtient le pointage le plus bas de tous les modes de gestion. En effet, il a la classe la plus basse pour tous les critères, sauf pour le potentiel de valorisation. Sa note plus élevée pour le potentiel de valorisation s'explique par le fait qu'il ne peut pas traiter le verre et les métaux recyclables qui peuvent donc être envoyés en centre de tri. Pour tous les autres critères, il a un des plus grands risques pour les matelots, aucune économie d'espace, coûte le plus cher et a un des plus grands impacts environnementaux. Le PAWDS n'est pas le meilleur choix pour les armateurs domestiques. Il conviendrait davantage aux navires internationaux en mer pour des durées supérieures à 12 jours.

5.11.Synthèse de l'analyse multicritère des modes de gestion

Le tableau 5.26 présente une synthèse de tous les aspects retenus de l'analyse des modes de gestion. Les pointages détaillés de chaque mode de gestion y sont inclus, de manière à pouvoir les comparer les uns avec les autres. Le tableau est organisé selon le type de flux de matière résiduelle. Pour chaque type de matière résiduelle, les modes de gestion appropriés sont associés. Le mode de gestion obtenant le pointage le plus élevé pour chaque flux de matière résiduelle est surligné en vert. Le tableau se situe à la page suivante.

Tableau 5.26 Synthèse de l'analyse multicritère des modes de gestion; les modes les plus avantageux surlignés en vert

Matière résiduelle		Mode de gestion	Finalité	Pointage									TOTAL	
				Risques santé et sécurité		Économie d'espace	Coûts associés		Potentiel de valorisation		Impact environnemental			
Matière organique	Entreposage	Matière organique	13	4	0 %	2	167 615,60 \$	4	33	5	0 kg éCO ₂	5	20	
	Congélateur		11	5	0 %	2	174 892,34 \$	4	33	5	60 kg éCO ₂	4	20	
	Composteur	Compost	13	4	-22 %	1	226 954,59 \$	2	33	5	105 kg éCO ₂	3	15	
	Déshydrateur	Matière organique déshydratée	15	3	12 %	3	210 111,11 \$	2	33	5	500 kg éCO ₂	3	16	
	Incinérateur	Cendres	19	1	41 %	4	380 018,01 \$	1	16	2	6 798 kg éCO ₂	1	9	
	MAGS	Biochar	19	1	35 %	4	227 486,90 \$	2	14	2	1 858 kg éCO ₂	2	11	
	PAWDS	Scories	18	1	-201 %	1	490 270,66 \$	1	14	2	9 201 kg éCO ₂	1	6	
Déchets ultimes	Entreposage	Déchets domestiques	13	4	0 %	2	167 615,60 \$	4	33	5	0 kg éCO ₂	5	20	
	Compacteur		15	3	55 %	5	124 878,64 \$	5	33	5	1 kg éCO ₂	4	22	
	Déchiqueteur		17	2	35 %	4	150 662,78 \$	5	30	4	6 kg éCO ₂	4	19	
	Incinérateur	Cendres	19	1	41 %	4	380 018,01 \$	1	16	2	6 798 kg éCO ₂	1	9	
	MAGS	Biochar	19	1	35 %	4	227 486,90 \$	2	14	2	1 858 kg éCO ₂	2	11	
	PAWDS	Scories	18	1	-201 %	1	490 270,66 \$	1	14	2	9 201 kg éCO ₂	1	6	
Matière recyclable	Papier et carton	Entreposage	Papier et carton	13	4	0 %	2	167 615,60 \$	4	33	5	0 kg éCO ₂	5	20
		Compacteur		15	3	55 %	5	124 878,64 \$	5	33	5	1 kg éCO ₂	4	22
		Déchiqueteur	Papier et carton déchiquetés	17	2	35 %	4	150 662,78 \$	5	30	4	6 kg éCO ₂	4	19
		Incinérateur	Cendres	19	1	41 %	4	380 018,01 \$	1	16	2	6 798 kg éCO ₂	1	9
		MAGS	Biochar	19	1	35 %	4	227 486,90 \$	2	14	2	1 858 kg éCO ₂	2	11
		PAWDS	Scories	18	1	-201 %	1	490 270,66 \$	1	14	2	9 201 kg éCO ₂	1	6
	Plastique	Entreposage	Plastique	13	4	0 %	2	167 615,60 \$	4	33	5	0 kg éCO ₂	5	20
		Compacteur		15	3	55 %	5	124 878,64 \$	5	33	5	1 kg éCO ₂	4	22
		Déchiqueteur	Plastique déchiqueté	17	2	35 %	4	150 662,78 \$	5	30	4	6 kg éCO ₂	4	19
		MAGS	Biochar	19	1	35 %	4	227 486,90 \$	2	14	2	1 858 kg éCO ₂	2	11
PAWDS		Scories	18	1	-201 %	1	490 270,66 \$	1	14	2	9 201 kg éCO ₂	1	6	

Tableau 5.26 Synthèse de l'analyse multicritère des modes de gestion; les modes les plus avantageux surlignés en vert (suite)

Matière résiduelle		Mode de gestion	Finalité	Pointage										TOTAL
				Risques santé et sécurité		Économie d'espace		Coûts associés		Potentiel de valorisation		Impact environnemental		
Matière recyclable	Métaux recyclables	Entreposage	Métaux recyclables	13	4	0 %	2	167 615,60 \$	4	33	5	0 kg éCO ₂	5	20
		Compacteur		15	3	55 %	5	124 878,64 \$	5	33	5	1 kg éCO ₂	4	22
		Déchiqueteur	Métaux recyclables déchiquetés	17	2	35 %	4	150 662,78 \$	5	30	4	6 kg éCO ₂	4	19
	Verre	Entreposage	Verre	13	4	0 %	2	167 615,60 \$	4	33	5	0 kg éCO ₂	5	20
		Broyeur à verre	Verre broyé	17	2	-3 %	1	180 929,48 \$	3	30	4	2 kg éCO ₂	4	14

6. VOIES DE TRAITEMENT DES MATIÈRES RÉSIDUELLES DES NAVIRES COMMERCIAUX

Les voies de traitement possibles mettent en application les modes de gestion. Seules les voies de traitement sur l'île de Montréal ont été regardées. Afin de déterminer quelles voies feraient partie de l'analyse, la Cartographie des acteurs et initiatives en économie circulaire sur le territoire de l'agglomération de Montréal (2007) a fourni une liste de sélection. À partir de la cartographie (Scherrer et al., 2017), les acteurs agissant dans la gestion des matières résiduelles domestiques (caractérisées au chapitre 4) sur l'île de Montréal ont été retenus. Évidemment, les voies de traitement populaires telles les centres de tri, les centres de compostage et biométhanisation ainsi que les lieux d'enfouissement technique ont été pris en compte dans l'analyse. Ainsi, l'entreprise Polystyvert et le système de la consigne ont été conservés pour participer à l'analyse des voies de traitement.

Les voies de traitement ont été évaluées à l'aide de quatre critères : la faisabilité, l'accessibilité, l'impact environnemental et la priorisation selon les 3RV-E (voir chapitre 3. Méthodologie). Dans l'évaluation de certains critères est incluse une variation basée sur la finalité qu'elle traite. En effet, l'impact environnemental d'une voie de traitement varie selon la matière traitée (ICF Consulting, 2005). Donc, les voies de traitement n'ont pas toutes qu'un seul pointage final, mais plusieurs pointages en fonction de la finalité. Ce chapitre présente les analyses multicritères des six voies de traitement à l'étude.

6.1. Centre de compostage

Le compostage s'applique aux matières organiques. Il s'agit d'un processus de décomposition en milieu anaérobie, donc avec présence d'oxygène. La décomposition des matières organiques s'effectue à l'aide de microorganismes présents dans le système. Bien mené, le processus n'émet que du dioxyde de carbone biogénique et de la vapeur d'eau. Dans le cas où la matière organique est mal oxygénée, du méthane peut être émis dans des conditions de décomposition anaérobie. (Pineau et al., 2019) La matière obtenue après une décomposition complète est le compost : un produit solide, mature et riche en composés humiques (Recyc-Québec, 2018d). Le compostage permet l'évaporation de l'eau contenue dans la matière organique, de sorte que le compost a un volume réduit de 30 % par rapport aux matières initiales. Le compost varie de qualité selon le procédé de compostage utilisé et la qualité des matières organiques. Celui-ci peut servir d'amendement pour les sols (bonne qualité) ou de remplacement de la terre pour le recouvrement des sites d'enfouissement (mauvaise qualité). (Olivier, 2016)

Le compostage peut se faire à plusieurs niveaux : domestique, communautaire ou industriel. Le centre de compostage étudié par cette analyse est industriel. Le compostage industriel à grande échelle permet de gérer de grands volumes de matières organiques de plusieurs manières passives ou actives. De manière passive, les centres de compostage peuvent former des piles statiques ou des andains qu'ils peuvent laisser statique ou retourner occasionnellement. De manière active, les piles peuvent être aérées ou des technologies telles des silos-couloirs, des lits agités ou des tambours rotatifs peuvent être utilisés.

(Environnement Canada, 2013b) Dans l'analyse des voies de traitement, le procédé utilisé par le centre de compostage n'a pas d'influence sur la classe obtenue de chaque critère.

6.1.1 Faisabilité

Les centres de compostage acceptent les résidus de table ainsi que le papier et carton souillé. Considérant que les matières organiques et le papier et carton sont déjà séparés à bord, il n'y a pas de tri supplémentaire à faire pour les matelots.

Classe : Aucun triage supplémentaire

Cote : 5

6.1.2 Accessibilité

Recyc-Québec (s.d.) a cartographié la gestion des matières organiques dans la province. Sur l'île de Montréal, deux centres de compostage (un à l'intérieur du rayon de 10 km et l'autre à l'extérieur) sont en fonction. En addition, un troisième centre de compostage à l'extérieur du rayon est prévu en 2020. Le pointage total est donc 3,3.

Classe : Pointage : 2,5 à 3,3 points

Cote : 4

6.1.3 Impact environnemental

Seules les matières organiques sont acceptées au centre de compostage. Selon ICF Consulting (2005) à l'annexe 6, envoyer les résidus alimentaires au compostage produit 0,02 t éCO₂/tonne de matières organiques. Selon le volume total d'entreposage de 12 jours, 1,16 tonne de matières organiques doit être envoyée au centre de compostage. Les émissions nettes de GES sont donc de 0,232 t éCO₂. Pour ce qui est des autres finalités (compost et matière organique déshydratée), aucune indication disant que les émissions GES nettes sont différentes n'a été trouvée. La même valeur a donc été utilisée. Par contre, les volumes diffèrent ce qui entraîne des émissions conséquentes (tableau 6.1). Le papier et le carton sont aussi acceptés au centre de compostage, mais aucune valeur d'émissions ne leur est donnée à l'annexe (S/O). Seules les valeurs des résidus alimentaires et des résidus de jardinage sont mesurées par le rapport d'ICF Consulting (2005). Ces valeurs correspondent aux émissions de l'équipement de compostage, ce qui s'appliquerait aussi au compostage du papier et du carton. Ainsi, cette même valeur a été utilisée.

Tableau 6.1 Émissions GES nettes des matières recyclables en centre de compostage

Matière	Masse (t)	Émissions GES nettes (t éCO ₂ /t)	Émissions GES nettes totales (t éCO ₂ /t)	Cote
Matière organique	1,16	0,02	0,023	2
Compost	0,815	0,02	0,016	2
Matière organique déshydratée	0,233	0,02	0,005	2
Papier et carton	1,91	0,02	0,038	2

6.1.4 Priorisation selon les 3RV-E

Composter les matières organiques permet de les réintroduire dans le cycle biologique une fois épandu au sol. Le compostage correspond donc au recyclage.

Classe : Recyclage

Cote : 5

6.1.5 Synthèse du centre de compostage

Le centre de compostage obtient une note totale variable selon la finalité traitée (tableau 6.2) :

Tableau 6.2 Résultats de l'analyse multicritère : Centre de compostage

Finalité	Faisabilité	Accessibilité	Impact environnemental	Priorisation selon les 3RV-E	TOTAUX
Matière organique	5	4	2	5	16
Compost	5	4	2	5	16
Matière organique déshydratée	5	4	2	5	16
Papier et carton	5	4	2	5	16

Généralement, envoyer les matières organiques au centre de compostage n'ajoute pas de difficulté aux matelots, car les matières organiques sont déjà triées à bord des navires commerciaux à l'étude. Aussi, il s'agit du plus haut niveau des 3RV-E atteignable par les voies de traitement sélectionnées. D'un autre côté, l'impact environnemental du centre de compostage se classe plutôt bas, c'est-à-dire que le centre de compostage émet une petite quantité d'émissions GES nettes.

6.2. Centre de biométhanisation

La biométhanisation est similaire au compost, mais dans des conditions anaérobies. Il s'agit de la récupération du biogaz produit lors de la décomposition de matières organiques dans un milieu privé d'oxygène. En plus du biogaz, la décomposition anaérobie produit du digestat, un résidu brut instable liquide à solide pouvant être épandu au sol comme amendement (parfois après avoir subi un deuxième traitement). Quant à lui, le biogaz peut remplacer les énergies fossiles comme carburant pour le chauffage, le transport

ou le réseau gazier. (Recyc-Québec, 2018d) Ainsi, la matière organique est fermentée en cuve fermée, d'où sont récupérées les émissions gazeuses (Pineau et al., 2019). Les installations sont plus compactes que celles du centre de compostage, mais le procédé de biométhanisation est plus complexe et requiert une quantité supérieure d'intrants (Recyc-Québec, 2018d).

6.2.1 Faisabilité

Tout comme les centres de compostage, les centres de biométhanisation acceptent les matières organiques et le papier et carton souillé. Aucun triage supplémentaire n'est nécessaire pour cette voie de traitement.

Classe : Aucun triage supplémentaire

Cote : 5

6.2.2 Accessibilité

Aucun centre de biométhanisation n'est disponible à ce jour sur l'île de Montréal. Néanmoins, deux centres entreront en service en 2020 : un à l'intérieur du rayon (Montréal-Est) et un à l'extérieur (Ville-Émard). (Recyc-Québec, s.d.) Le pointage du centre de biométhanisation est donc 0,8.

Classe : Pointage : 0 à 0,8 point

Cote : 1

6.2.3 Impact environnemental

Tout comme le centre de compostage, le centre de biométhanisation n'accueille que les matières organiques. Les émissions GES nettes relevées par ICF Consulting (2005) sont de 0,2 t éCO₂/tonne de matière organique (annexe 6). Ainsi, pour 1,16 tonne de matières organiques en 12 jours, 0,232 t éCO₂ sont produites au centre de biométhanisation. Pour ce qui est des autres finalités (compost et matière organique déshydratée), aucune indication disant que les émissions GES nettes sont différentes n'a été trouvée. La même valeur a donc été utilisée. Les émissions totales des finalités sont présentées au tableau 6.3. Pour le papier et carton, la moyenne des émissions GES nettes du papier journal, papier fin, carton et autres papiers a été utilisée.

Tableau 6.3 Émissions GES nettes des matières recyclables en centre de biométhanisation

Matière	Masse (t)	Émissions GES nettes (t éCO ₂ /t)	Émissions GES nettes totales (t éCO ₂ /t)	Cote
Matière organique	1,16	0,02	0,023	2
Compost	0,815	0,02	0,016	2
Matière organique déshydratée	0,233	0,02	0,005	2
Papier et carton	1,91	(0,23)	(0,439)	3

6.2.4 Priorisation selon les 3RV-E

Le centre de biométhanisation produit deux extrants : le biogaz et le digestat. La production de biogaz est une forme de valorisation, alors que le digestat peut être utilisé sous forme de recyclage. En effet, le digestat peut être épandu, soit être recyclé en retournant à la terre. Le niveau des 3RV-E le plus élevé pour l'analyse. Le centre de biométhanisation se classe donc en tant que recyclage.

Classe : Recyclage

Cote : 5

6.2.5 Synthèse du centre de biométhanisation

Le centre de biométhanisation obtient une note totale variable selon la finalité traitée (tableau 6.4) :

Tableau 6.4 Résultats de l'analyse multicritère : Centre de biométhanisation

Finalité	Faisabilité	Accessibilité	Impact environnemental	Priorisation selon les 3RV-E	TOTAUX
Matière organique	5	1	2	5	13
Compost	5	1	2	5	13
Matière organique déshydratée	5	1	2	5	13
Papier et carton	5	1	3	5	14

Le centre de biométhanisation est une solution valable pour la même raison que le centre de compostage : les matières organiques sont déjà séparées à bord des navires et il se situe au niveau des 3RV-E le plus avantageux. D'un autre côté, il n'est pas encore accessible (deux centres entreront en activité en 2020 sur l'île de Montréal), ce qui explique pourquoi il obtient un pointage plus bas que le centre de compostage.

6.3. Centre de tri

Les centres de tri agissent en tant qu'intermédiaire entre les consommateurs et les conditionneurs et recycleurs. Ils reçoivent les matières recyclables provenant de la collecte sélective, les trient, les mettent en ballots et les revendent aux entreprises qui les recyclent en vue de les remettre sur le marché. (Gingras, 2013, 23 juillet; Recyc-Québec, 2019d) Il est plus simple pour les armateurs d'envoyer leurs matières recyclables au centre de tri que directement aux conditionneurs et recycleurs puisqu'ils produisent peu de matières tout comme un bâtiment ordinaire.

6.3.1 Faisabilité

La collecte sélective évite d'avoir à trier les matières recyclables davantage. Sur les navires, envoyer les matières recyclables au centre de tri ne nécessite pas de triage supplémentaire, sauf dans le cas des matières recyclables déchetées. En effet, les centres de tri demandent que le papier décheté soit

séparé et gardé dans un seul sac transparent (Tricentris, 2015). Il est estimé que les mêmes directives doivent être suivies pour les plastiques et les métaux recyclables. Il y a donc deux classements à ce critère, dépendamment de la finalité (tableau 6.5). Pour les matières déchiquetées, le triage supplémentaire ne demande pas de formation aux matelots puisque les matières à séparer sont reconnaissables facilement visuellement.

Tableau 6.5 Faisabilité des centres de tri

Finalité	Nombre de voies de matières à trier	Classe	Cote
Matière recyclable (papier/carton, plastique, verre, métaux recyclables)	1) Matières organiques 2) Papier et carton 3) Plastique, verre et métaux recyclables 4) Déchets domestiques	Aucun triage supplémentaire	5
Matière recyclable déchiquetée	1) Matières organiques 2) Papier 3) Carton 4) Plastique 5) Métaux recyclables 6) Déchets domestiques	Triage supplémentaire obligatoire Aucune formation nécessaire	3

6.3.2 Accessibilité

Deux centres de tri sont présents sur l'île de Montréal : le Complexe environnemental Saint-Michel et le Nouveau Centre de tri des matières recyclables de Montréal (Ville de Montréal, s.d.). Le Complexe Saint-Michel se situe à l'intérieur du rayon de 10 km, alors que l'autre centre de tri se situe à Lachine, donc à l'extérieur du rayon. Les centres de tri obtiennent un pointage de 3,0.

Classe : Pointage : 2,5 à 3,3 points

Cote : 4

6.3.3 Impact environnemental

Bien que les centres de tri ne fassent que trier les matières et les rediriger vers les recycleurs, les émissions GES nettes du recyclage des matières sont utilisées puisque le recyclage des matières représente l'impact environnemental réel de cette voie de traitement.

L'impact environnemental du centre de tri est moins évident que celui des deux dernières voies de traitement. Chaque matière envoyée au centre de tri possède ses émissions GES nettes distinctes (annexe 6). Afin de déterminer les émissions GES nettes totales d'après les volumes de matières résiduelles produits à bord, des moyennes des différents matériaux ont été calculées afin d'obtenir des émissions pour les quatre catégories de matières recyclables : papier et carton, plastique, métaux recyclables et verre. Les données sont présentées au tableau suivant (6.6) :

Tableau 6.6 Émissions GES nettes des matières recyclables en centre de tri

Matière	Masse (t)	Émissions GES nettes moyennes (t éCO ₂ /t)	Émissions GES nettes totales (t éCO ₂ /t)	Cote
Papier et carton	1,91	(0,28) (Moyenne : papier journal, papier fin, carton, autres papiers)	(0,535)	3
Plastique	1,16	(2,57) (Moyenne : PEHD, PET, autres plastiques)	(2,98)	5
Métaux recyclables	0,361	(3,84) (Moyenne : aluminium, acier)	(1,37)	4
Verre	0,203	(0,10)	(0,020)	3

6.3.4 Priorisation selon les 3RV-E

Selon les 3RV-E, les centres de tri correspondent au recyclage puisqu'ils réintroduisent les matières recyclées dans les marchés.

Classe : Recyclage

Cote : 5

6.3.5 Synthèse du centre de tri

Le centre de tri obtient une note totale variable selon la finalité traitée (tableau 6.7) :

Tableau 6.7 Résultats de l'analyse multicritère : Centre de tri

Finalité	Faisabilité	Accessibilité	Impact environnemental	Priorisation selon les 3RV-E	TOTAUX
Papier et carton	5	4	3	5	17
Plastique	5	4	5	5	19
Métaux recyclables	5	4	4	5	18
Verre	5	4	3	5	17
Papier et carton déchiquetés	3	4	3	5	15

Le centre de tri obtient les pointages les plus élevés des voies de traitement. Ceci s'explique par le fait qu'il ne nécessite aucun triage supplémentaire à bord, sauf lorsque les matières sont déchiquetées. En addition, il a un impact environnemental positif et se classe au niveau le plus élevé des 3RV-E parmi les voies de traitement.

6.4. Polystyvert

Polystyvert est une entreprise québécoise innovante s'appliquant au recyclage du polystyrène souvent refusé en centre de tri. Leur technologie dissout d'abord les résidus de polystyrène dans une solution de

cumène, l'huile essentielle extraite des pelures d'orange. Le mélange est ensuite purifié avant d'être séparé. Le polystyrène retiré de la solution est mis sous forme de pastilles. Ces pastilles peuvent être vendues comme matière première pouvant être intégrée à des panneaux d'isolation ou des barquettes alimentaires, par exemple. (Polystyvert, 2020b)

En effet, le polystyrène est refusé dans la plupart des centres de tri. Ceux-ci ont relevé plusieurs problèmes dans le marché du polystyrène : une faible quantité est disponible et il y a peu de marchés locaux stables. Le coût de traitement est élevé et le polystyrène retient les contaminants comme la poussière sur les lignes de tri. (Recyc-Québec, 2018b) Chez les armateurs, ceci signifie que le polystyrène est un déchet domestique. Polystyvert permet de retirer cette matière des déchets domestiques et de la recycler. Cette voie de traitement est donc associée aux déchets domestiques, malgré qu'elle n'en traite qu'une portion.

6.4.1 Faisabilité

Cette voie de traitement requiert que le polystyrène (plastique n°6) soit séparé des autres flux de matières résiduelles. Il s'agit d'une nouvelle voie de tri à bord. Celle-ci nécessite une formation préalable auprès des matelots puisque distinguer les types de plastique n'est pas une évidence, surtout s'ils ne sont pas numérotés (CE Delft et CHEW, 2017).

Classe : Triage supplémentaire; Formation nécessaire

Cote : 1

6.4.2 Accessibilité

Polystyvert n'a qu'une seule installation située à Anjou (Polystyvert, 2020a), à l'intérieur du rayon. Ainsi, l'accessibilité de Polystyvert est de 2,0 points.

Classe : Pointage : 1,6 à 2,4 points

Cote : 3

6.4.3 Impact environnemental

Aucune information sur les émissions GES de Polystyvert n'a été trouvée lors de la recherche documentaire. Pour réaliser l'analyse, les données du recyclage d'ICF Consulting (2005) ont été utilisées (annexe 6). Les émissions GES nettes du polystyrène sont considérées comme les émissions GES nettes des autres plastiques soit (1,80) t $\text{éCO}_2/\text{t}$. Pour calculer les émissions GES nettes totales, la masse du polystyrène produit à bord est nécessaire. Le chapitre 4 Flux des matières résiduelles à bord des navires commerciaux n'est malheureusement pas aussi précis. Pour pouvoir comparer cette voie de traitement aux autres, une quantité de polystyrène a été estimée : 33 % des déchets domestiques. Donc, il est estimé que 0,208 tonne est produite en 12 jours. L'impact environnemental estimé se traduit donc par (0,374) t éCO_2 .

Classe : Entre -1 et -0,001 t éCO₂

Cote : 3

6.4.4 Priorisation selon les 3RV-E

Tout comme les centres de tri, l'entreprise Polystyvert correspond au recyclage comme elle réintroduit le polystyrène dans son marché (Polystyvert, 2020a).

Classe : Recyclage

Cote : 5

6.4.5 Synthèse de Polystyvert

Polystyvert obtient une note totale variable selon la finalité traitée (tableau 6.8) :

Tableau 6.8 Résultats de l'analyse multicritère : Polystyvert

Finalité	Faisabilité	Accessibilité	Impact environnemental	Priorisation selon les 3RV-E	TOTAL
Polystyrène	1	3	3	5	12

Polystyvert obtient un pointage plutôt bas à cause de sa faible faisabilité. En effet, les matelots devront séparer le polystyrène des autres matières résiduelles à bord, ce qui n'est pas évident pour des personnes peu familières avec la classification des plastiques. Tout de même, Polystyvert se situe au niveau le plus élevé des 3RV-E des voies de valorisation. Bien qu'il ne traite qu'une portion des déchets domestiques, Polystyvert démontre qu'il existe des voies de traitement accessibles permettant de diminuer la quantité de matières résiduelles envoyées à l'élimination.

6.5. Consigne

La consigne est un système québécois en lien avec la responsabilité élargie des producteurs (REP). La REP responsabilise les producteurs à la gestion de fin de vie des produits qu'ils mettent sur le marché (Recyc-Québec, 2019 c). Ceci s'applique aux producteurs de boissons gazeuses, par exemple, qui doivent s'assurer que les canettes d'aluminium soient recyclées après leur consommation. Afin d'assister ces compagnies, l'organisme Boissons gazeuses Environnement a été mis sur pied pour administrer le système de consigne des contenants à usage unique comme les canettes. Le système consiste à prendre un dépôt de 0,05 \$ sur chaque canette achetée par le consommateur et rembourser le dépôt lorsque le consommateur retourne la canette à un point de dépôt. Chaque commerce vendant ces produits est un point de dépôt. (Recyc-Québec, 2018e)

6.5.1 Faisabilité

Envoyer les canettes d'aluminium à la consigne nécessite que celles-ci soient séparées des autres métaux recyclables. Il y a donc un triage supplémentaire à effectuer à bord. Sinon, séparer les canettes ne demande aucune formation à donner aux matelots. En effet, selon Pro-consigne Québec, les Québécois sont attachés au système de consigne (Guénette, 2016). Il peut donc être pris pour acquis que les matelots sont habitués à trier leurs canettes de boissons gazeuses.

Classe : Triage supplémentaire; Aucune formation

Cote : 3

6.5.2 Accessibilité

Le système de la consigne ne permet qu'à certains conditionneurs accrédités de recevoir les canettes consignées et de les revendre aux recycleurs (Recyc-Québec, 2018e). La liste des conditionneurs et recycleurs accrédités en offre un seul sur l'île de Montréal à Baie-d'Urfé (Recyc-Québec, 2016), hors du rayon de 10 km. Ainsi, la consigne obtient 1,0 point pour l'accessibilité. Il est à noter que la consigne a énormément de points de dépôt (épiceries, dépanneur) sur l'île de Montréal, mais il devient nécessaire pour un membre de l'équipage de quitter le navire et d'aller y porter les canettes. Ces points de dépôt ne sont donc pas pris en compte puisque ce scénario semble irréaliste.

Classe : Pointage : 0,9 à 1,7 point

Cote : 2

6.5.3 Impact environnemental

La consigne consiste à retirer les canettes d'aluminium de la collecte sélective dans le but de permettre son recyclage à un taux plus élevé. Ainsi, il s'agit de recycler les canettes. Selon ICF Consulting (2005), recycler l'aluminium résulte en (6,49) t éCO_2 /tonne d'aluminium (annexe 6). Encore une fois, le chapitre 4 n'a pas permis de définir la masse de l'aluminium produite en 12 jours, mais plutôt la masse des métaux recyclables. Ici, la quantité de canettes d'aluminium dans les métaux recyclables est de 50 % puisque Transport Canada (2010) estime que deux canettes sont bues par jour par personne à bord des navires commerciaux domestiques. Donc, il est estimé que 0,181 tonne d'aluminium sont produites par 12 jours, ce qui génère (1,17) t éCO_2 .

Classe : Entre -2 et -1,001 t éCO_2

Cote : 4

6.5.4 Priorisation selon les 3RV-E

La consigne se classe aussi au niveau recyclage des 3RV-E comme elle permet aux canettes d'être recyclées de manière appropriée par les producteurs qui les mettent sur le marché (Consignation, 2019).

Classe : Recyclage

Cote : 5

6.5.5 Synthèse de la consigne

La consigne obtient une note totale variable selon la finalité traitée (tableau 6.9) :

Tableau 6.9 Résultats de l'analyse multicritère : Consigne

Finalité	Faisabilité	Accessibilité	Impact environnemental	Priorisation selon les 3RV-E	TOTAL
Canettes d'aluminium	3	2	4	5	14

La consigne a un impact environnemental positif et se classe au niveau le plus élevé des 3RV-E des voies de traitement. Tout de même, il perd des points à la faisabilité comme les canettes doivent être séparées des autres métaux recyclables à bord. D'après les critères choisis, il est plus avantageux de les envoyer au centre de tri pour éviter un triage supplémentaire et une manipulation additionnelle de flux de matières résiduelles aux matelots. Reste que 100 % des matières envoyées à la consigne sont recyclées (Consignation, 2019), contrairement aux centres de tri.

6.6. Lieu d'enfouissement technique

Un lieu d'enfouissement technique (LET) est un « lieu d'enfouissement étanche muni de systèmes de traitement du lixiviat et du biogaz » (Olivier, 2016). Au LET, les matières résiduelles sont enfouies dans des cellules imperméables. Ces cellules imperméables sont empilées les unes sur les autres, séparées par des couches de terre. Dans les cellules, les matières organiques se décomposent sous des conditions anaérobies, produisant deux extrants : le biogaz et le lixiviat. Le biogaz est composé de CO₂ et de méthane. Le biogaz est capté par pompage puis traité sur place, parfois avec une valorisation énergétique. Les cellules permettent aussi la récupération du lixiviat, un liquide riche en polluants s'écoulant des matières résiduelles enfouies en décomposition (ou non), afin d'éviter qu'il infiltre les eaux souterraines. (SNC-Lavalin, 2007) Tout type de matière est accepté au LET dans les limites imposées par le Règlement sur l'enfouissement et l'incinération des matières résiduelles (REIMR) depuis 2009.

6.6.1 Faisabilité

Au lieu d'enfouissement technique, tout est déchargé sans égard aux matières résiduelles. Aucun tri supplémentaire n'est donc requis à bord.

Classe : Aucun triage supplémentaire

Cote : 5

6.6.2 Accessibilité

Il n'y a qu'un seul LET sur l'île de Montréal situé à Montréal-Est. Celui-ci ne traite toutefois que les cendres de l'incinérateur de l'usine d'épuration des eaux usées de la Ville. La Ville de Montréal envoie plutôt ses déchets aux LET à l'extérieur de l'île : Lachenaie, Sainte-Sophie et St-Thomas (André Simard et associés, 2006). (MELCC, 2019b) Le LET n'obtient donc aucun point.

Classe : Pointage : 0 à 0,8 point

Cote : 1

6.6.3 Impact environnemental

Considérant que toutes les finalités peuvent se rendre au lieu technique d'enfouissement, l'impact environnemental de l'enfouissement de chaque matière a été relevé. ICF Consulting (2005) offre quatre scénarios d'émissions nettes des sites d'enfouissement : moyenne nationale, sans récupération des biogaz, avec récupération des biogaz et brûlage et avec récupération des biogaz et de l'énergie (annexe 6). Le scénario de la moyenne nationale a été utilisé pour quantifier les émissions GES nettes de l'enfouissement des différentes matières. Pour certains groupes de matières, une moyenne des émissions a été réalisée pour calculer les émissions GES nettes moyennes. Pour les déchets domestiques, comme ceux-ci ne sont pas caractérisés dans l'annexe, une moyenne des émissions de toutes les matières a été utilisée. Les cendres, biochar et scories ont tous un taux d'émissions de 0,01 t éCO₂/t, comme toutes les matières inorganiques de l'annexe. (tableau 6.10)

Tableau 6.10 Émissions GES nettes des matières recyclables du lieu d'enfouissement technique

Matière	Masse (t)	Émissions GES nettes moyennes (t éCO ₂ /t)	Émissions GES nettes totales (t éCO ₂ /t)	Cote
Déchets domestiques	0,630	0,41 (Moyenne : toutes les matières)	0,258	2
Cendres — Mâchefers	0,555	0,01	0,006	2
Biochar	0,243	0,01	0,002	2
Scories	0,243	0,01	0,002	2
Papier et carton	1,91	1,00 (Moyenne : papier journal, papier fin, carton, autres papiers)	1,91	1
Plastique	1,16	0,01 (Moyenne : PEHD, PET, autres plastiques)	0,12	2
Métaux recyclables	0,361	0,01 (Moyenne : aluminium, acier)	0,004	2
Verre	0,203	0,01	0,002	2
Matières organiques	1,16	0,89	1,03	1
Compost	0,815	0,89	0,725	2
Matière organique déshydratée	0,233	0,89	0,207	2

6.6.4 Priorisation selon les 3RV-E

Le lieu d'enfouissement technique est un lieu d'élimination comme les matières non recyclables ou valorisables y finissent.

Classe : Élimination

Cote : 1

6.6.5 Synthèse du lieu d'enfouissement technique

Le LET obtient une note totale variable selon la finalité traitée (tableau 6.11) :

Tableau 6.11 Résultats de l'analyse multicritère : Lieu d'enfouissement technique

Finalité	Faisabilité	Accessibilité	Impact environnemental	Priorisation selon les 3RV-E	TOTAUX
Déchets domestiques	5	1	2	1	9
Cendres — Mâchefers	5	1	2	1	9
Biochar	5	1	2	1	9
Scories	5	1	2	1	9
Papier et carton (décheté)	5	1	1	1	8
Plastique (décheté)	5	1	2	1	9
Métaux recyclables (décheté)	5	1	2	1	9
Verre (broyé)	5	1	2	1	9
Matières organiques	5	1	1	1	8
Compost	5	1	2	1	9
Matière organique déshydratée	5	1	2	1	9

Les lieux d'enfouissement techniques acceptent toutes les finalités à l'étude. Tout envoyer au LET reste bien faisable puisque cela ne requiert aucun triage supplémentaire. Toutefois, il s'agit de la voie de traitement à ne pas prioriser selon les 3RV-E : l'élimination. Le LET a d'ailleurs un impact environnemental négatif.

6.7. Synthèse de l'analyse des voies de traitement

Le tableau 6.12 à la page suivante présente la synthèse des pointages obtenus par les voies de traitement en fonction de la finalité traitée. Le tableau est organisé par flux de matières résiduelles/finalités associés aux voies de traitement possibles. Pour chaque finalité, la cellule marquée en vert représente la voie de traitement la plus avantageuse selon l'analyse multicritère, ou ayant obtenue le plus haut pointage.

Tableau 6.12 Synthèse de l'analyse multicritère des voies de traitement; les voies les plus avantageuses surlignées en vert

Matière résiduelle		Voies de traitement	Pointage								TOTAL
			Faisabilité		Accessibilité		Impact environnemental		3RV-E		
Matière organique	Matière organique	Centre de compostage	Aucun triage supplémentaire	5	3,3	4	0,023 t éCO ₂	2	Recyclage	5	16
		Centre de biométhanisation			0,8	1	0,023 t éCO ₂	2	Recyclage	5	13
		Lieu d'enfouissement technique			0	1	1,03 t éCO ₂	1	Élimination	1	8
	Matière organique déshydratée	Centre de compostage	Aucun triage supplémentaire	5	3,3	4	0,005 t éCO ₂	2	Recyclage	5	16
		Centre de biométhanisation			0,8	1	0,005 t éCO ₂	2	Recyclage	5	13
		Lieu d'enfouissement technique			0	1	0,207 t éCO ₂	2	Élimination	1	9
	Compost	Centre de compostage	Aucun triage supplémentaire	5	3,3	4	0,016 t éCO ₂	2	Recyclage	5	16
		Centre de biométhanisation			0,8	1	0,016 t éCO ₂	2	Recyclage	5	13
		Lieu d'enfouissement technique			0	1	0,725 t éCO ₂	2	Élimination	1	9
Déchets ultimes	Déchet domestique	Polystyvert ¹	Triage supplémentaire; Formation nécessaire	1	2,0	3	-0,374 t éCO ₂	3	Recyclage	5	12
		Lieu d'enfouissement technique	Aucun triage supplémentaire	5	0	1	0,258 t éCO ₂	2	Élimination	1	9
Matière recyclable	Papier et carton	Centre de compostage	Aucun triage supplémentaire	5	3,3	4	0,038 t éCO ₂	2	Recyclage	5	16
		Centre de biométhanisation			0,8	1	-0,439 t éCO ₂	3	Recyclage	5	14
		Centre de tri			3,0	4	-0,535 t éCO ₂	3	Recyclage	5	17
		Lieu d'enfouissement technique			0	1	1,91 t éCO ₂	1	Élimination	1	8
	Plastique	Centre de tri	Aucun triage supplémentaire	5	3,0	4	-2,98 t éCO ₂	5	Recyclage	5	19
		Lieu d'enfouissement technique			0	1	0,12 t éCO ₂	2	Élimination	1	9
	Verre	Centre de tri	Aucun triage supplémentaire	5	3,0	4	-0,02 t éCO ₂	3	Recyclage	5	17
		Lieu d'enfouissement technique			0	1	0,002 t éCO ₂	2	Élimination	1	9

Tableau 6.12 Synthèse de l'analyse multicritère des voies de traitement; les voies les plus avantageuses surlignées en vert (suite)

Matière résiduelle		Voies de traitement	Pointage								TOTAL
			Faisabilité		Accessibilité		Impact environnemental		3RV-E		
	Métaux recyclables	Centre de tri	Aucun triage supplémentaire	5	3,0	4	-1,37 t éCO ₂	4	Recyclage	5	18
		Lieu d'enfouissement technique	Aucun triage supplémentaire	5	0	1	0,004 t éCO ₂	2	Élimination	1	9
		Consigne (canettes aluminium)	Triage supplémentaire; Aucune formation	3	1,0	2	-1,17 t éCO ₂	4	Recyclage	5	14
	Papier et carton déchiqueté	Centre de compostage	Triage supplémentaire; Aucune formation	3	3,3	4	-0,439 t éCO ₂	3	Recyclage	5	15
		Centre de biométhanisation			0,8	1	-0,439 t éCO ₂	3	Valorisation	3	10
		Centre de tri			3,0	4	-0,535 t éCO ₂	3	Recyclage	5	15
		Lieu d'enfouissement technique	Aucun triage supplémentaire	5	0	1	1,91 t éCO ₂	1	Élimination	1	8
	Plastique déchiqueté	Lieu d'enfouissement technique	Aucun triage supplémentaire	5	0	1	0,12 t éCO ₂	2	Élimination	1	9
	Métaux recyclables déchiquetés	Lieu d'enfouissement technique	Aucun triage supplémentaire	5	0	1	0,004 t éCO ₂	2	Élimination	1	9
	Verre broyé	Lieu d'enfouissement technique	Triage supplémentaire; Aucune formation	3	0	1	0,002 t éCO ₂	2	Élimination	1	7
Autres finalités	Biochar	Lieu d'enfouissement technique	Aucun triage supplémentaire	5	0	1	0,002 t éCO ₂	2	Élimination	1	9
	Scories						0,002 t éCO ₂	2			9
	Cendres — Mâchefer						0,006 t éCO ₂	2			9

¹ Polystyvert obtient le pointage le plus élevé des voies des traitement associées aux déchets domestiques, mais il faut considérer qu'il n'en traite qu'une portion. Le reste des déchets domestiques devront être envoyés au LET.

7. ANALYSE DE PRIORISATION ET OUTIL DÉCISIONNEL

Ce chapitre combine les deux analyses précédentes des modes de gestion et des voies de traitement. À partir de cette combinaison, une analyse de priorisation a été réalisée. Une fois l'analyse de priorisation complétée, un outil d'aide à la décision a été mis sur pied en ajoutant un système de pondération au tableau synthèse de l'analyse de priorisation.

7.1. Analyse de priorisation

L'analyse de priorisation a pour objectif d'identifier quels scénarios sont les plus avantageux selon les critères établis dans les analyses précédentes. Un scénario est composé d'un mode de gestion et d'une voie de traitement associée à la finalité du mode. Afin d'alléger l'analyse de priorisation, celle-ci a été réalisée en séparant les trois flux de matières résiduelles : les matières organiques, les déchets domestiques et les matières recyclables. L'analyse de priorisation compile l'analyse des modes de gestion et l'analyse des voies de traitement en un tableau synthèse. Le tableau synthèse est scindé en trois pour distinguer les flux de matières résiduelles. Le tableau additionne le pointage des modes de gestion et le pointage des voies de traitement, sans pondération. Un pointage final est donc attribué à chaque scénario, dans le but de comparer ceux-ci. Les scénarios obtenant les pointages les plus élevés sont à prioriser par rapport aux autres scénarios.

Le tableau synthèse (7.1 a, 7.1 b et 7.1 c) est présenté aux pages suivantes. Une analyse des résultats est incluse à sa suite. Le tableau offre deux pointages par critère : SP et AP. Ces annotations signifient « sans pondération » et « avec pondération ». Elles mettent en place l'outil décisionnel qui intègre une pondération au tableau synthèse. Pour ce qui est de l'analyse de priorisation, les colonnes SP et AP ont les mêmes valeurs puisque l'analyse ne comporte pas de pondération.

Tableau 7.1a Analyse de priorisation des modes de gestion et des voies de traitement des matières résiduelles à bord : Matières organiques

Matière résiduelle	Mode de gestion	Pointage des modes de gestion										Finalité	Voies de traitement	Pointage des voies de traitement								TOTAUX		
		Risques santé et sécurité		Économie d'espace		Couts associés		Potentiel de valorisation		Impact environnemental				Faisabilité		Accessibilité		Impact environnemental		3RV-E				
		SP	AP	SP	AP	SP	AP	SP	AP	SP	AP			SP	AP	SP	AP	SP	AP	SP	AP	SP	AP	
Matière organique	Entreposage	4	4	2	2	4	4	5	5	5	5	Matière organique	Centre de compostage	5	5	4	4	2	2	5	5	36	36	
		Congélateur	5	5	2	2	4	4	5	5	4		4	Centre de biométhanisation	5	5	1	1	2	2	5	5	33	33
														LET	5	5	1	1	1	1	1	1	28	28
	Centre de compostage													5	5	4	4	2	2	5	5	36	36	
	Centre de biométhanisation													5	5	1	1	2	2	5	5	33	33	
	LET													5	5	1	1	1	1	1	1	28	28	
	Composteur											4		4	1	1	2	2	5	5	3	3	Compost	Centre de compostage
		Centre de biométhanisation	5	5	1	1	2	2	5	5	28		28											
		LET	5	5	1	1	2	2	1	1	24		24											
	Déshydrateur	3	3	3	3	2	2	5	5	3	3	Matière organique déshydratée	Centre de compostage	5	5	4	4	2	2	5	5	32	32	
													Centre de biométhanisation	5	5	1	1	2	2	5	5	29	29	
													LET	5	5	1	1	2	2	1	1	25	25	
	Incinérateur	1	1	4	4	1	1	2	2	1	1	Cendres	LET	5	5	1	1	2	2	1	1	18	18	
	MAGS	1	1	4	4	2	2	2	2	2	2	Biochar										20	20	
	PAWDS	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Scories										14	14	

Tableau 7.1b Analyse de priorisation des modes de gestion et des voies de traitement des matières résiduelles à bord : Déchets domestiques

Matière résiduelle	Mode de gestion	Pointage des modes de gestion										Finalité	Voies de traitement	Pointage des voies de traitement								TOTAUX	
		Risques santé et sécurité		Économie d'espace		Couts associés		Potentiel de valorisation		Impact environnemental				Faisabilité		Accessibilité		Impact environnemental		3RV-E			
		SP	AP	SP	AP	SP	AP	SP	AP	SP	AP			SP	AP	SP	AP	SP	AP	SP	AP	SP	AP
Déchets ultimes	Entreposage	4	4	2	2	4	4	5	5	5	5	Déchets domestiques	Polystyvert ¹	1	1	3	3	3	3	5	5	32	32
													LET	5	5	1	1	2	2	1	1	29	29
	Compacteur	3	3	5	5	5	5	5	5	4	4		Polystyvert ¹	1	1	3	3	3	3	5	5	34	34
													LET	5	5	1	1	2	2	1	1	31	31
	Déchiqueteur	2	2	4	4	5	5	4	4	4	4		Polystyvert ¹	1	1	3	3	3	3	5	5	31	31
													LET	5	5	1	1	2	2	1	1	28	28
	Incinérateur	1	1	4	4	1	1	2	2	1	1	Cendres	LET	5	5	1	1	2	2	1	1	18	18
	MAGS	1	1	4	4	2	2	2	2	2	2	Biochar										20	20
PAWDS	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Scories	14										14	

¹ Polystyvert obtient le pointage le plus élevé des voies des traitement associées aux déchets domestiques, mais il faut considérer qu'il n'en traite qu'une portion. Le reste des déchets domestiques devront être envoyés au LET

Tableau 7.1c Analyse de priorisation des modes de gestion et des voies de traitement des matières résiduelles à bord : Matières recyclables

Matière résiduelle		Mode de gestion	Pointage des modes de gestion										Finalité	Voies de traitement	Pointage des voies de traitement								TOTAUX	
			Risques santé et sécurité		Économie d'espace		Coûts associés		Potentiel de valorisation		Impact environnemental				Faisabilité		Accessibilité		Impact environnemental		3RV-E			
			SP	AP	SP	AP	SP	AP	SP	AP	SP	AP			SP	AP	SP	AP	SP	AP	SP	AP	SP	AP
Matière recyclable	Papier et carton	Entreposage	4	4	2	2	4	4	5	5	5	5	Papier et carton	Centre de compostage	5	5	4	4	2	2	5	5	36	36
			Centre de biométhanisation	5	5	1	1	3	3	5	5	34		34										
			Centre de tri	5	5	4	4	3	3	5	5	37		37										
			LET	5	5	1	1	1	1	1	1	28		28										
		Compacteur	3	3	5	5	5	5	5	4	4	Centre de compostage		5	5	4	4	2	2	5	5	38	38	
												Centre de biométhanisation		5	5	1	1	3	3	5	5	36	36	
												Centre de tri		5	5	4	4	3	3	5	5	39	39	
												LET		5	5	1	1	1	1	1	1	30	30	
		Déchiqueteur	2	2	4	4	5	5	4	4	4	4	Papier et carton déchiquetés	Centre de compostage	3	3	4	4	2	2	5	5	33	33
														Centre de biométhanisation	3	3	1	1	3	3	5	5	31	31
														Centre de tri	3	3	4	4	3	3	5	5	34	34
														LET	5	5	1	1	1	1	1	1	27	27
		Incinérateur	1	1	4	4	1	1	2	2	1	1	Cendres	LET	5	5	1	1	2	2	1	1	18	18
		MAGS	1	1	4	4	2	2	2	2	2	2	Biochar										20	20
		PAWDS	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Scories										14	14

Tableau 7.1c Analyse de priorisation des modes de gestion et des voies de traitement des matières résiduelles à bord : Matières recyclables (suite)

Matière résiduelle		Mode de gestion	Pointage des modes de gestion										Finalité	Voies de traitement	Pointage des voies de traitement								TOTAUX		
			Risques santé et sécurité		Économie d'espace		Couuts associés		Potentiel de valorisation		Impact environnemental				Faisabilité		Accessibilité		Impact environnemental		3RV-E				
			SP	AP	SP	AP	SP	AP	SP	AP	SP	AP			SP	AP	SP	AP	SP	AP	SP	AP			
	Plastique	Entreposage	4	4	2	2	4	4	5	5	5	5	Plastique	Centre de tri	5	5	4	4	5	5	5	5	39	39	
														LET	5	5	1	1	2	2	1	1	29	29	
		Compacteur	3	3	5	5	5	5	5	5	4	4		Centre de tri	5	5	4	4	5	5	5	5	41	41	
														LET	5	5	1	1	2	2	1	1	31	31	
		Déchiqueteur	2	2	4	4	5	5	4	4	4	4	Plastique déchiqueté	LET	5	5	1	1	2	2	1	1	28	28	
		MAGS	1	1	4	4	2	2	2	2	2	2	Biochar												
	PAWDS	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Scories	LET	5	5	1	1	2	2	1	1	20	20		
	Métaux recyclables																							14	14
		Entreposage	4	4	2	2	4	4	5	5	5	5	Métaux recyclables	Centre de tri	5	5	4	4	4	4	5	5	38	38	
														LET	5	5	1	1	2	2	1	1	29	29	
														Consigne	3	3	2	2	4	4	5	5	34	34	
		Compacteur	3	3	5	5	5	5	5	5	4	4		Centre de tri	5	5	4	4	4	4	5	5	40	40	
														LET	5	5	1	1	2	2	1	1	31	31	
														Consigne	3	3	2	2	4	4	5	5	36	36	
		Déchiqueteur	2	2	4	4	5	5	4	4	4	4	Métaux recyclables déchiquetés	LET	5	5	1	1	2	2	1	1	28	28	
	Verre	Entreposage	4	4	2	2	4	4	5	5	5	5	Verre	Centre de tri	5	5	4	4	3	3	5	5	37	37	
														LET	5	5	1	1	2	2	1	1	29	29	
		Broyeur à verre	2	2	1	1	3	3	4	4	4	4	Verre broyé	LET	3	3	1	1	2	2	1	1	21	21	

La première conclusion qui ressort de l'analyse de priorisation est que la combinaison des deux analyses ne semble pas changer le résultat de priorité des modes de gestion et voies de traitement indépendamment. En général, le compacteur est présent dans les scénarios obtenant les plus hauts pointages. Du côté des voies de traitement, le centre de compostage et le centre de tri font majoritairement partie des scénarios à prioriser. L'incinérateur, le MAGS et le PAWDS obtiennent constamment les pointages les plus bas. La suite de l'analyse est plus spécifique aux flux de matières résiduelles.

7.1.1 Matières organiques

Dans le cas de la matière organique, deux scénarios ressortent du lot par au moins trois points d'avance. Il s'agit de l'entreposage-centre de compostage et du congélateur-centre de compostage. Malgré un pointage égal, un congélateur offre un avantage supplémentaire à l'entreposage : l'élimination des odeurs de la putréfaction des matières organiques. Ceci est reflété dans la cote plus élevée des risques pour la santé et la sécurité des matelots. Sachant que la santé et la sécurité sont une priorité pour les armateurs (CSL, 2019a), l'outil décisionnel permettra sans doute d'augmenter le pointage du congélateur grâce à la pondération.

Sinon, le désavantage du composteur domestique et du déshydrateur repose sur la valorisation de leur finalité. Envoyer le compost et la matière organique déshydratée au centre de compostage ou de biométhanisation est insensé puisque la matière organique sera traitée deux fois. Idéalement, il faudrait utiliser le compost ou la matière déshydratée directement à la sortie du navire pour que cela devienne avantageux. Ces finalités peuvent être épandues en tant qu'amendement ou fertilisant. Par contre, cela ne semble pas réaliste pour les armateurs compte tenu de la réglementation stricte entourant l'utilisation et la vente de matières fertilisantes. En effet, il est interdit d'épandre du compost provenant de matières organiques domestiques puisqu'il court le risque d'être contaminé de matière fécale humaine. Cette interdiction est levée si le compost est certifié par la norme CAN/BNQ 0413-200 du Bureau de normalisation du Québec (BNQ), ou si le niveau de contamination des intrants est négligeable (Hébert, 2013). La norme offre un standard de qualité à atteindre à l'intention des fabricants de compost. Celle-ci inclut les méthodes d'échantillonnage et d'analyse (Bureau de Normalisation du Québec, 2016). Sinon, il faut prouver que les intrants ne dépassent pas un seuil de contamination. À moins que fabriquer du compost dans le but de l'épandre soit une priorité, les deux options précédentes sont peut-être trop complexes à réaliser pour un armateur. Il semble donc préférable d'éviter le composteur domestique à bord.

Ensuite, envoyer ces finalités au LET est le pire scénario selon les 3RV-E, il est donc évident qu'il n'est pas à prioriser. Le même raisonnement s'applique à l'utilisation de l'incinérateur, du MAGS et du PAWDS : le potentiel de valorisation des matières organiques est perdu, expliquant leur pointage très bas.

Somme toute, sans pondération des critères, il vaut mieux ne pas traiter les matières organiques à bord, mais plutôt les entreposer afin de conserver leur potentiel de valorisation. À ce moment, le centre de

compostage est la méthode de recyclage la plus avantageuse puisqu'elle est présentement disponible. Lorsque les centres de biométhanisation de l'île de Montréal seront mis en opération, les résultats de l'analyse pourraient s'avérer différents.

7.1.2 Déchets domestiques

Pour ce qui a trait aux déchets domestiques, le compacteur obtient encore une fois les pointages les plus élevés. Les deux voies de traitement associées ont trois points de différence. Polystyvert est en tête par rapport au LET. Ces résultats ne devraient peut-être pas être interprétés à la lettre. En effet, Polystyvert a pris les devants puisqu'il permet le recyclage (cinq points) de certains déchets, alors que le LET élimine (un point) tous les déchets. Aussi, le fait qu'il n'y ait aucun LET sur l'île de Montréal diminue considérablement son pointage final. L'impact environnemental de Polystyvert est positif, alors que celui du LET est négatif. D'un autre côté, envoyer tous les déchets au LET est beaucoup plus facile que de n'envoyer que le polystyrène à Polystyvert. Trier un seul type de plastique et l'entreposer séparément attribue la note la plus basse à la faisabilité de Polystyvert. Dans ce cas-ci, la pondération de l'outil décisionnel aura un grand impact par rapport au résultat. Sans pondération, les critères en faveur de l'environnement et des 3RV-E font en sorte que Polystyvert est à prioriser, mais dans l'éventualité où la facilité a plus d'importance pour un armateur, le LET pourrait l'emporter. D'ailleurs, Polystyvert pourrait entraîner des coûts supplémentaires, ce qui n'a pas été intégré à l'analyse. Il faut aussi considérer que Polystyvert ne traite qu'une portion des déchets domestiques, il faudra donc envoyer le reste au LET. Il reste donc à la discrétion des armateurs de décider si la voie de traitement de Polystyvert en vaut le coût.

Encore ici, l'incinérateur, le MAGS et le PAWDS obtiennent les pointages les moins élevés puisqu'ils limitent le potentiel de valorisation et par le fait même un niveau plus élevé sur la hiérarchie des 3RV-E.

7.1.3 Matières recyclables

Les matières recyclables présentent des résultats similaires : le compacteur est le mode de gestion et le centre de tri la voie de traitement à prioriser. L'entreposage suit derrière. Il est évident que les modes de gestion respectant l'intégrité des matières finissent en tête puisqu'ils conservent le potentiel de valorisation de celles-ci. Le déchiqueteur, bien qu'il respecte l'intégrité des matières, obtient des pointages plus bas puisqu'il devient obligatoire de séparer les matières recyclables en l'utilisant, mais aussi pour son risque pour la santé et sécurité des matelots un peu plus élevé. D'ailleurs, le déchiqueteur empêche les plastiques et métaux d'être envoyés au centre de tri. Le broyeur à verre a les mêmes désavantages auxquels s'ajoute le fait que seul le verre peut être traité avec cet appareil et que le verre n'est pas une matière résiduelle abondante à bord. Le broyeur à verre est donc inutile, d'autant plus qu'il empêche le verre d'être recyclé en centre de tri. L'incinérateur, le MAGS et le PAWDS ne sont pas à prioriser.

Du côté des voies de traitement, le centre de tri est toujours à prioriser par rapport à la deuxième option (le LET) parce qu'il a un impact environnemental positif et un niveau des 3RV-E supérieur au LET. Le papier et le carton ont l'opportunité d'être envoyés au centre de compostage avec les matières organiques, ou au centre de tri avec les matières recyclables comme ces deux scénarios obtiennent un pointage presque égal. Bien que le papier et le carton soient des matières organiques, Recyc-Québec (2019 b) recommande de les mettre avec les matières organiques lorsqu'ils sont souillés. L'impact environnemental de ces deux voies appuie la recommandation de Recyc-Québec : le centre de tri a un impact positif supérieur à celui du centre de compostage. Aussi, les Québécois sont habitués à mettre le papier et le carton au recyclage. Il semble donc sûr de les envoyer au centre de tri.

Sinon, les métaux recyclables ont un dernier scénario : la consigne. Celle-ci est exclusive aux canettes d'aluminium de boissons gazeuses. Toutefois, le critère de la faisabilité décourage l'utilisation de la consigne puisqu'elle demande un triage supplémentaire à bord et qu'elle est moins accessible à partir des navires. Même avec la pondération de l'outil décisionnel, le pointage de la consigne ne pourra jamais surpasser celui du centre de tri. Reste que la consigne est le meilleur moyen d'assurer un recyclage optimal des canettes d'aluminium (voir Recommandations, 3) (Consignaction, 2019).

7.2. Outil décisionnel

L'analyse de priorisation et son tableau synthèse ont permis de créer un outil d'aide à la décision destiné aux armateurs leur permettant de sélectionner le mode de gestion et la voie de valorisation à prioriser selon leurs intérêts. Le processus est simple : il s'agit d'un fichier Excel dans lequel l'armateur attribue une pondération à chaque critère de l'analyse (figure 7.1). La pondération est la suivante :

1. Le critère n'est pas une priorité pour l'organisme.
2. Le critère a une importance marquée pour l'organisme, mais n'est pas une des plus grandes priorités.
3. Le critère est d'une importance prioritaire pour l'organisme.

Une fois qu'une pondération a été attribuée à chaque critère, les cotes des critères y sont multipliées. Ainsi, pour un scénario, les cotes sont multipliées par un, deux ou trois. Les cotes pondérées sont additionnées pour obtenir un total avec pondération. Dans l'outil, les colonnes SP et AP sont présentes afin de permettre de comparer l'impact de la pondération choisie par l'armateur.

Fichier Accueil Insertion Dessin Mise en page Formules Données Révision Affichage Aide Antidote														Partager Com	
D5															
MODES DE GESTION															
3															
4	DD	Critère	Définition	Pondération	Classes	Cote									
5	Social	Risque pour la santé et sécurité	Les risques pour la santé et la sécurité pour les équipes à bord des navires qui doivent mettre en œuvre les modes de gestion. Les risques incluent les facteurs techniques, les compétences, les contaminations infectieuses et les dangers inattendus (Latta, 2001; Dureau-Sapin et al., 2006; World Health Organization (WHO), 2011).	1	Pointage: 10 ou plus	1									
6					1	2									
7					2	3									
8	Technique	Economie d'espace	L'espace limité à bord des navires de la voie maritime du Saint-Laurent complice le manque de matériel d'équipement à bord (PARLIN, 2019). Ainsi, les modes de gestion les plus avantageux réduisent l'espace nécessaire à l'entreposage des matières.	1	Pointage: 10 à 11	1									
9					1	2									
10					2	3									
11	Economie	Coût associé au risque	Les avantages économiques ont une priorité pour les entreprises privées. Les modes de gestion doivent être avantageux en diminuant les frais associés à l'entreposage des matières (Lawrence Sanchez, et al., 2019) ou l'investissement affecté par l'achat d'équipement.	1	Pointage: 10 à 11	1									
12					1	2									
13					2	3									
14	SPV-E	Potential de valorisation	Selon les données du SPV-E, une matière a un potentiel de valorisation, plutôt qu'à être éliminée. Ainsi, les modes de gestion doivent permettre de maximiser une voie de valorisation (en le recyclage). Il s'agit d'un avantage qui affecte le potentiel de valorisation. (REFERENCE) Le potentiel a donc plus de valeur lorsqu'il s'agit d'une voie de valorisation.	1	Pointage: 10 à 11	1									
15					1	2									
16					2	3									
17	Impact environnemental de mode de gestion	Les impacts environnementaux doivent être limités par les modes de gestion les plus avantageux (Latta, 2001; Dureau-Sapin et al., 2007), qui se traduit par l'utilisation d'énergie par le mode de gestion lui-même.	1	Pointage: 10 à 11	1										
18				1	2										
19				2	3										
Critères - Pondération Outil +															

VOIES DE TRAITEMENT															
4	DD	Critère	Définition	Pondération	Classes	Cote									
5	Technique	Faisabilité	Certains voies de valorisation nécessitent d'effectuer un triage préalable à celui généralement effectué à bord des navires. Ces autres voies de valorisation de triage et d'entreposage les matières qui nécessitent une voie de valorisation possible. (SNO-Lavelin et al., 2007)	1	Triage supplémentaire obligatoire; Fourniture	1									
6					Triage supplémentaire obligatoire; Accusé	2									
7					Accusé supplémentaire	3									
8	Environnement	Accessibilité	Les voies de traitement doivent être accessibles à partir du port de Manicou. Celle-ci doivent donc se trouver sur l'île de Manicou. (REFERENCE)	1	Pointage: 0 à 0,5	1									
9					Pointage: 0,5 à 1,7	2									
10					Pointage: 1,5 à 2,4	3									
11	Impact environnemental	Impact environnemental	Les impacts environnementaux des voies de traitement sont évalués selon une approche de cycle de vie des matières résiduelles et des extraits des voies de traitement (IGT Consulting, 2005)	1	Pointage: 2,5 à 3,3	4									
12					Pointage: 3,4 et plus	5									
13					1	2									
14	Entre 0 et 0,999 t CO2 eq/ton	3													
15	Entre 1 et 0,999 t CO2 eq/ton	4													
16	Entre 2 et 0,999 t CO2 eq/ton	5													
17	Entre 3 et 0,999 t CO2 eq/ton	6													
18	Entre 4 et 0,999 t CO2 eq/ton	7													
19	Entre 5 et 0,999 t CO2 eq/ton	8													
20	Entre 6 et 0,999 t CO2 eq/ton	9													
21	Entre 7 et 0,999 t CO2 eq/ton	10													
22	Entre 8 et 0,999 t CO2 eq/ton	11													
23	Entre 9 et 0,999 t CO2 eq/ton	12													
24	Entre 10 et 0,999 t CO2 eq/ton	13													
25	Entre 11 et 0,999 t CO2 eq/ton	14													
26	Entre 12 et 0,999 t CO2 eq/ton	15													
27	Entre 13 et 0,999 t CO2 eq/ton	16													
28	Entre 14 et 0,999 t CO2 eq/ton	17													
29	Entre 15 et 0,999 t CO2 eq/ton	18													
30	Entre 16 et 0,999 t CO2 eq/ton	19													
31	Entre 17 et 0,999 t CO2 eq/ton	20													
32	Entre 18 et 0,999 t CO2 eq/ton	21													
33	Entre 19 et 0,999 t CO2 eq/ton	22													
34	Entre 20 et 0,999 t CO2 eq/ton	23													
35	Entre 21 et 0,999 t CO2 eq/ton	24													
36	Entre 22 et 0,999 t CO2 eq/ton	25													
37	Entre 23 et 0,999 t CO2 eq/ton	26													
38	Entre 24 et 0,999 t CO2 eq/ton	27													
39	Entre 25 et 0,999 t CO2 eq/ton	28													
40	Entre 26 et 0,999 t CO2 eq/ton	29													
41	Entre 27 et 0,999 t CO2 eq/ton	30													
42	Entre 28 et 0,999 t CO2 eq/ton	31													
43	Entre 29 et 0,999 t CO2 eq/ton	32													
44	Entre 30 et 0,999 t CO2 eq/ton	33													
45	Entre 31 et 0,999 t CO2 eq/ton	34													
46	Entre 32 et 0,999 t CO2 eq/ton	35													
47	Entre 33 et 0,999 t CO2 eq/ton	36													
48	Entre 34 et 0,999 t CO2 eq/ton	37													
49	Entre 35 et 0,999 t CO2 eq/ton	38													
50	Entre 36 et 0,999 t CO2 eq/ton	39													
51	Entre 37 et 0,999 t CO2 eq/ton	40													
52	Entre 38 et 0,999 t CO2 eq/ton	41													
53	Entre 39 et 0,999 t CO2 eq/ton	42													
54	Entre 40 et 0,999 t CO2 eq/ton	43													
55	Entre 41 et 0,999 t CO2 eq/ton	44													
56	Entre 42 et 0,999 t CO2 eq/ton	45													
57	Entre 43 et 0,999 t CO2 eq/ton	46													
58	Entre 44 et 0,999 t CO2 eq/ton	47													
59	Entre 45 et 0,999 t CO2 eq/ton	48													
60	Entre 46 et 0,999 t CO2 eq/ton	49													
61	Entre 47 et 0,999 t CO2 eq/ton	50													
62	Entre 48 et 0,999 t CO2 eq/ton	51													
63	Entre 49 et 0,999 t CO2 eq/ton	52													
64	Entre 50 et 0,999 t CO2 eq/ton	53													
65	Entre 51 et 0,999 t CO2 eq/ton	54													
66	Entre 52 et 0,999 t CO2 eq/ton	55													
67	Entre 53 et 0,999 t CO2 eq/ton	56													
68	Entre 54 et 0,999 t CO2 eq/ton	57													
69	Entre 55 et 0,999 t CO2 eq/ton	58													
70	Entre 56 et 0,999 t CO2 eq/ton	59													
71	Entre 57 et 0,999 t CO2 eq/ton	60													
72	Entre 58 et 0,999 t CO2 eq/ton	61													
73	Entre 59 et 0,999 t CO2 eq/ton	62													
74	Entre 60 et 0,999 t CO2 eq/ton	63													
75	Entre 61 et 0,999 t CO2 eq/ton	64													
76	Entre 62 et 0,999 t CO2 eq/ton	65													
77	Entre 63 et 0,999 t CO2 eq/ton	66													
78	Entre 64 et 0,999 t CO2 eq/ton	67													
79	Entre 65 et 0,999 t CO2 eq/ton	68													
80	Entre 66 et 0,999 t CO2 eq/ton	69													
81	Entre 67 et 0,999 t CO2 eq/ton	70													
82	Entre 68 et 0,999 t CO2 eq/ton	71													
83	Entre 69 et 0,999 t CO2 eq/ton	72													
84	Entre 70 et 0,999 t CO2 eq/ton	73													
85	Entre 71 et 0,999 t CO2 eq/ton	74													
86	Entre 72 et 0,999 t CO2 eq/ton	75													
87	Entre 73 et 0,999 t CO2 eq/ton	76													
88	Entre 74 et 0,999 t CO2 eq/ton	77													
89	Entre 75 et 0,999 t CO2 eq/ton	78													
90	Entre 76 et 0,999 t CO2 eq/ton	79													
91	Entre 77 et 0,999 t CO2 eq/ton	80													
92	Entre 78 et 0,999 t CO2 eq/ton	81													
93	Entre 79 et 0,999 t CO2 eq/ton	82													
94	Entre 80 et 0,999 t CO2 eq/ton	83													
95	Entre 81 et 0,999 t CO2 eq/ton	84													
96	Entre 82 et 0,999 t CO2 eq/ton	85													
97	Entre 83 et 0,999 t CO2 eq/ton	86													
98	Entre 84 et 0,999 t CO2 eq/ton	87													
99	Entre 85 et 0,999 t CO2 eq/ton	88													
100	Entre 86 et 0,999 t CO2 eq/ton	89													
101	Entre 87 et 0,999 t CO2 eq/ton	90													
102	Entre 88 et 0,999 t CO2 eq/ton	91													
103	Entre 89 et 0,999 t CO2 eq/ton	92													
104	Entre 90 et 0,999 t CO2 eq/ton	93													
105	Entre 91 et 0,999 t CO2 eq/ton	94													
106	Entre 92 et 0,999 t CO2 eq/ton	95													
107	Entre 93 et 0,999 t CO2 eq/ton	96													
108	Entre 94 et 0,999 t CO2 eq/ton	97													
109	Entre 95 et 0,999 t CO2 eq/ton	98													
110	Entre 96 et 0,999 t CO2 eq/ton	99													
111	Entre 97 et 0,999 t CO2 eq/ton	100													
112	Entre 98 et 0,999 t CO2 eq/ton	101													
113	Entre 99 et 0,999 t CO2 eq/ton	102													
114	Entre 100 et 0,999 t CO2 eq/ton	103													
115	Entre 101 et 0,999 t CO2 eq/ton	104													
116	Entre 102 et 0,999 t CO2 eq/ton	105													
117	Entre 103 et 0,999 t CO2 eq/ton	106													
118	Entre 104 et 0,999 t CO2 eq/ton	107													
119	Entre 105 et 0,999 t CO2 eq/ton	108													
120	Entre 106 et 0,999 t CO2 eq/ton	109													
121	Entre 107 et 0,999 t CO2 eq/ton	110													
122	Entre 108 et 0,999 t CO2 eq/ton	111													
123	Entre 109 et 0,999 t CO2 eq/ton	112													
124	Entre 110 et 0,999 t CO2 eq/ton	113													
125	Entre 111 et 0,999 t CO2 eq/ton	114													
126	Entre 112 et 0,999 t CO2 eq/ton	115													
127	Entre 113 et 0,999 t CO2 eq/ton	116													
128	Entre 114 et 0,999 t CO2 eq/ton	117													
129	Entre 115 et 0,999 t CO2 eq/ton	118													
130	Entre 116 et 0,999 t CO2 eq/ton	119													
131	Entre 117 et 0,999 t CO2 eq/ton	120													
132	Entre 118 et 0,999 t CO2 eq/ton	121													
133	Entre 119 et 0,999 t CO2 eq/ton	122													
134	Entre 120 et 0,999 t CO2 eq/ton	123													
135	Entre 121 et 0,999 t CO2 eq/ton	124													
136	Entre 122 et 0,999 t CO2 eq/ton	125													
137	Entre 123 et 0,999 t CO2 eq/ton	126													
138	Entre 124 et 0,999 t CO2 eq/ton	127													
139	Entre 125 et 0,999 t CO2 eq/ton	128													
140	Entre 126 et 0,999 t CO2 eq/ton	129													
141	Entre 127 et 0,999 t CO2 eq/ton	130													
142	Entre 128 et 0,999 t CO2 eq/ton	131													
143	Entre 129 et 0,999 t CO2 eq/ton	132													
144	Entre 130 et 0,999 t CO2 eq/ton	133													
145	Entre 131 et 0,999 t CO2 eq/ton	134													
146	Entre 132 et 0,999 t CO2 eq/ton	135													
147	Entre 133 et 0,999 t CO2 eq/ton	136													
148	Entre 134 et 0,999 t CO2 eq/ton	137													
149	Entre 135 et 0,999 t CO2 eq/ton	138													
150	Entre 136 et 0,999 t CO2 eq/ton	139													
151	Entre 137 et 0,999 t CO2 eq/ton	140													
152	Entre 138 et 0,999 t CO2 eq/ton	141													
153	Entre 139 et 0,999 t CO2 eq/ton	142													
154	Entre 140 et 0,999 t CO2 eq/ton	143													
155	Entre 141 et 0,999 t CO2 eq/ton	144													
156	Entre 142 et 0,999 t CO2 eq/ton	145													
157	Entre 143 et 0,999 t CO2 eq/ton	146													
158	Entre 144 et 0,999 t CO2 eq/ton	147													
159	Entre 145 et 0,999 t CO2 eq/ton	148													
160	Entre 146 et 0,999 t CO2 eq/ton	149													
161	Entre 147 et 0,999 t CO2 eq/ton	150													
162	Entre 148 et 0,999 t CO2 eq/ton	151													
163	Entre 149 et 0,999 t CO2 eq/ton	152													
164	Entre 150 et 0,999 t CO2 eq/ton	153													
165	Entre 151 et 0,999 t CO2 eq/ton	154													
166	Entre 152 et 0,999 t CO2 eq/ton	155													
167	Entre 153 et 0,999 t CO2 eq/ton	156													
168	Entre 154 et 0,999 t CO2 eq/ton	157													
169	Entre 155 et 0,999 t CO2 eq/ton	158													
170	Entre 156 et 0,999 t CO2 eq/ton	159													
171	Entre 157 et 0,999 t CO2 eq/ton	160													
172	Entre 158 et 0,999 t CO2 eq/ton	161													
173	Entre 159 et 0,999 t CO2 eq/ton	162													
174	Entre 160 et 0,999 t CO2 eq/ton	163													
175	Entre 161 et 0,999 t CO2 eq/ton	164													
176	Entre 162 et 0,999 t CO2 eq/ton	165													
177	Entre 163 et 0,999 t CO2 eq/ton	166													
178	Entre 164 et 0,999 t CO2 eq/ton	167													
179	Entre 165 et 0,999 t CO2 eq/ton	168													
180	Entre 166 et 0,999 t CO2 eq/ton	169													
181	Entre 167 et 0,999 t CO2 eq/ton	170													
182	Entre 168 et 0,999 t CO2 eq/ton	171													
183	Entre 169 et 0,999 t CO2 eq/ton	172													
184	Entre 170 et 0,999 t CO2 eq/ton	173													
185	Entre 171 et 0,999 t CO2 eq/ton	174													
186	Entre 172 et 0,999 t CO2 eq/ton	175													
187	Entre 173 et 0,999 t CO2 eq/ton	176													
188	Entre 174 et 0,999 t CO2 eq/ton	177													
189	Entre 175 et 0,999 t CO2 eq/ton	178													
190	Entre 176 et 0,999 t CO2 eq/ton	179													
191	Entre 177 et 0,999 t CO2 eq/ton	180													
192	Entre 178 et 0,999 t CO2 eq/ton	181													
193	Entre 179 et 0,999 t CO2 eq/ton	182													
194	Entre 180 et 0,999 t CO2 eq/ton	183													
195	Entre 181 et 0,999 t CO2 eq/ton	184													
196	Entre 182 et 0,999 t CO2 eq/ton	185													
197	Entre 183 et 0,999 t CO2 eq/ton	186													
198	Entre 184 et 0,999 t CO2 eq/ton	187													
199	Entre 185 et 0,999 t CO2 eq/ton	188													
200	Entre 186 et 0,999 t CO2 eq/ton	189													
201	Entre 187 et 0,999 t CO2 eq/ton	190													
202	Entre 188 et 0,999 t CO2 eq/ton	191													
203	Entre 189 et 0,999 t CO2 eq/ton	192													
204	Entre 190 et 0,999 t CO2 eq/ton	193													
205	Entre 191 et 0,999 t CO2 eq/ton	194													
206	Entre 192 et 0,999 t CO2 eq/ton	195													
207	Entre 193 et 0,999 t CO2 eq/ton	196													
208	Entre 194 et 0,999 t CO2 eq/ton	197													
209	Entre 195 et 0,999 t CO2 eq/ton	198													
210	Entre 196 et 0,999 t CO2 eq/ton	199													
211	Entre 197 et 0,999 t CO2 eq/ton	200													
212	Entre 198 et 0,999 t CO2 eq/ton	201													
213	Entre 199 et 0,999 t CO2 eq/ton	202													
214	Entre 200 et 0,999 t CO2 eq/ton	203													
215	Entre 201 et 0,999 t CO2 eq/ton	204													
216	Entre 202 et 0,999 t CO2 eq/ton	205													
217	Entre 203 et 0,999 t CO2 eq/ton	206													
218	Entre 204 et 0,999 t CO2 eq/ton	207													
219	Entre 205 et 0,999 t CO2 eq/ton	208													
220	Entre 206 et 0,999 t CO2 eq/ton	209													
221	Entre 207 et 0,999 t CO2 eq/ton	210													
222	Entre 208 et 0,999 t CO2 eq/ton	211													
223	Entre 209 et 0,999 t CO2 eq/ton	212													
224	Entre 210 et 0,999 t CO2 eq/ton	213													
225	Entre 211 et 0,999 t CO2 eq/ton	214													
226	Entre 212 et 0,999 t CO2 eq/ton	215													
227	Entre 213 et 0,999 t CO2 eq/ton	216													
228	Entre 214 et 0,999 t CO2 eq/ton	217													
229	Entre 215 et 0,														

8. RECOMMANDATIONS

Les recommandations ne se limitent pas aux modes de gestion et aux voies de traitement à prioriser. Bien que les résultats de l'analyse de priorisation aient mis en lumière les modes de gestion et les voies de traitement à prioriser, ceux-ci ne peuvent pas être complètement pris à la lettre puisque l'outil décisionnel intègre une pondération qui pourrait les changer. Ainsi, la première recommandation se base sur les modes de gestion à intégrer selon les résultats de l'analyse. Les recommandations suivantes s'attardent plutôt à la gestion des matières résiduelles des armateurs domestiques en général.

1- Équiper les navires commerciaux d'un compacteur et de congélateurs afin de simplifier la gestion des matières résiduelles domestiques à bord.

L'analyse de priorisation a reconnu le compacteur comme le mode de gestion le plus avantageux pour les armateurs domestiques. Bien entendu, c'est le cas de l'analyse sans pondération. Le compacteur a l'avantage de traiter plusieurs matières sans inhiber leur potentiel de valorisation : déchets domestiques, papier, carton, plastique et métaux recyclables. Seul le verre ne peut être traité par le compacteur. Ceci n'est pas nécessairement un problème puisque le verre requiert moins qu'un mètre cube d'espace d'entreposage maximal en 12 jours. Le compacteur permet de réduire considérablement le volume d'entreposage maximal des autres matières et, par le fait même, d'offrir une réduction significative des coûts associés.

Le congélateur est le deuxième mode de gestion recommandé pour les armateurs domestiques. Quoique le congélateur ne se démarque pas par rapport au simple entreposage, son utilisation est recommandée puisqu'il neutralise les odeurs liées à la putréfaction des matières organiques. De plus, les liquides s'échappant des matières organiques lors de leur entreposage seront solidifiés par la température de congélation. Entreposée à l'extérieur, la matière organique en décomposition produit des résidus liquides gênant les matelots lors de la manipulation des sacs. L'entreposage des matières organiques dans des congélateurs jusqu'au déchargement à quai est définitivement moins inconvenient pour les matelots, ce qui pourrait d'ailleurs les encourager à s'appliquer davantage à la collecte des matières organiques à bord.

Le compacteur et les congélateurs combinés couvrent presque toutes les matières résiduelles domestiques à gérer à bord d'un navire commercial. Les économies engendrées par le compacteur couvriront l'achat des congélateurs. Reste que cette recommandation est basée sur l'analyse de priorisation sans pondération. Celle-ci pourrait s'avérer différente avec l'utilisation de l'outil décisionnel.

2- Utiliser l'outil décisionnel.

En utilisant l'outil décisionnel créé par cette analyse, les armateurs pourront faire l'exercice de déterminer quels critères sont prioritaires ou importants dans leur entreprise. Ils pourront aussi observer comment ces priorités influencent les modes de gestion et voies de valorisation qui s'offrent à eux.

3- Mutualiser la gestion des matières résiduelles des armateurs domestiques pour augmenter les volumes de matière à traiter et ainsi faciliter l'accès aux voies de traitement moins populaires.

Lorsque le volume de matières résiduelles à traiter n'est pas assez grand pour justifier leur transport, une mutualisation peut être mise en place. Il s'agit de répartir la gestion des matières résiduelles à une collectivité, dans ce cas-ci aux armateurs domestiques. Ceux-ci pourraient regrouper leurs matières à un point de dépôt et se répartir les frais associés à leur gestion. Idéalement, cette stratégie requiert la collaboration des administrations portuaires. Les points de dépôts devront se situer à un emplacement accessible à partir des navires, c'est-à-dire sur le territoire portuaire.

Une mutualisation offre la possibilité d'envoyer les matières résiduelles à certaines voies de traitement moins accessibles à bord des navires. Par exemple, le système de la consigne obtient un pointage inférieur au centre de recyclage, notamment puisqu'il nécessite un triage supplémentaire et qu'il devrait être envoyé à un point de dépôt indépendamment des autres matières. Les armateurs et l'administration portuaire pourraient installer un point de dépôt sur le territoire portuaire, permettant la collecte des contenants consignés de tous les navires domestiques transitant par le port. D'ailleurs, le remboursement lors du retour des contenants consignés financerait cette mutualisation. Un système similaire pourrait être conçu avec Polystyvert, si les armateurs décident d'entreprendre le tri supplémentaire du polystyrène à bord de leurs navires. En créant des lieux de dépôts, le taux de recyclage des navires domestiques et des ports participants pourrait augmenter.

Cela dit, seuls les navires domestiques peuvent participer à cette mutualisation. Comme mentionné dans la mise en contexte, l'ACIA ne permet pas aux matières recyclables et organiques en provenance de l'extérieur du pays d'être recyclés. Les administrations portuaires auraient donc une responsabilité supplémentaire en surveillant quel navire peut effectuer le dépôt de ses matières et lesquels ne peuvent pas. Cette responsabilité devra être soutenue par les armateurs.

4- Reproduire l'analyse de priorisation en intégrant des modes de gestion et des voies de valorisation émergentes chaque année dans le but d'y intégrer l'approche d'économie circulaire.

L'idée de reproduire l'analyse permet d'intégrer de l'économie circulaire aux pratiques de gestion des matières résiduelles des armateurs domestiques. Plusieurs organismes et concepts d'économie circulaire sont en voie d'émergence au Québec. Dans un an, peut-être y aura-t-il de nouvelles voies de traitement des matières résiduelles permettant leur recyclage, ou même leur réemploi (encore plus avantageux selon les 3RV-E).

Aussi, les marchés auront une chance de se développer. Par exemple, la valorisation du biochar, des scories ou des cendres d'incinération seront peut-être plus accessibles dans quelques années. À ce moment, il sera intéressant de revisiter l'analyse des modes de gestion. Le MAGS et le PAWDS seront à reconsidérer.

En réévaluant les critères d'analyse chaque année, les armateurs pourraient identifier de nouveaux scénarios excitants qui permettraient de réduire davantage leur empreinte environnementale.

CONCLUSION

Au Québec, le transport maritime est indispensable à la chaîne d'approvisionnement à grande échelle. En plus de transporter des passagers, celui-ci fait circuler des marchandises dans la province et à l'international. La voie maritime du Saint-Laurent est la porte d'entrée du secteur Est-canadien. Pour y naviguer, les navires doivent respecter les dimensions des écluses présentes à plusieurs emplacements sur la voie maritime. Les équipages vivant à bord doivent gérer le transbordement des marchandises, la navigation, mais aussi d'autres éléments de la vie en mer telle la gestion des matières résiduelles à bord. Tout comme n'importe quel bâtiment, les navires commerciaux produisent des matières résiduelles domestiques : des matières organiques, des déchets domestiques et des matières recyclables. Par contre, les équipages des navires sont aux prises avec des problèmes de gestion comme l'espace d'entreposage limité à bord et les odeurs liées à l'entreposage des matières résiduelles.

La pratique populaire de gestion des matières résiduelles à bord des navires commerciaux est l'incinération. Récemment, certains armateurs ont démontré l'intérêt de se distancer de cette pratique dans le but de réduire leur empreinte environnementale et d'éviter les risques sur la santé et la sécurité des équipages causés par les incinérateurs. Si les matières résiduelles ne sont pas incinérées, elles sont plutôt entreposées à bord durant une période d'environ 12 jours. L'entreposage des matières résiduelles consomme beaucoup d'espace à bord. Comme l'espace à bord des navires est limité, il existe plusieurs autres modes de gestion facilitant l'entreposage des matières résiduelles, notamment en réduisant leur volume. Par contre, certains modes de gestion modifient la nature des matières résiduelles de manière à les empêcher d'être recyclées ou valorisées.

Ainsi, l'objectif de l'essai était de créer un outil décisionnel pour les armateurs permettant de sélectionner les modes de gestion et les voies de traitement des matières résiduelles produites à bord de navires commerciaux les plus avantageux environnementalement, socialement et économiquement selon la hiérarchie des 3RV-E. Pour y arriver, les modes de gestion accessibles aux armateurs domestiques ainsi que les voies de traitement des finalités des modes de gestion ont été répertoriés. Les modes de gestion et les voies de traitement ont été évalués à l'aide d'analyses multicritères intégrant des critères environnementaux, sociaux, économiques et de l'approche des 3RV-E. Chaque critère a pu être mesuré grâce à un classement associé à des cotes. Pour chaque mode de gestion et voie de traitement, les cotes ont été additionnées pour former un pointage final. Par après, les modes de gestion ont été reliés à leurs voies de traitement possibles, de manière à créer plusieurs scénarios de gestion des matières résiduelles par une analyse de priorisation. Chaque scénario a obtenu un pointage basé sur les pointages de son mode de gestion et de sa voie de traitement. Les scénarios ont donc pu être comparés les uns aux autres.

L'outil décisionnel reprend l'analyse de priorisation des scénarios de gestion des matières résiduelles. Celui-ci s'adresse aux armateurs domestiques. Les armateurs doivent y entrer une pondération basée sur l'importance des critères d'analyse. La pondération, évaluée d'un à trois, est multipliée aux cotes des

critères correspondants. La pondération des critères permet de donner plus de poids à certains critères en particulier. Ainsi, les pointages finaux varient en fonction des intérêts prioritaires des armateurs. Ceux-ci peuvent donc obtenir des scénarios différents de ceux obtenus par l'analyse de priorisation comme résultat.

Outre l'outil décisionnel, l'analyse de priorisation a offert quelques résultats intéressants. D'abord, les scénarios avec les pointages les plus élevés des déchets domestiques et des matières recyclables comportent tous un compacteur comme mode de gestion. L'analyse illustre aussi que simplement entreposer les matières résiduelles est plus avantageux que d'utiliser un incinérateur ou d'autres systèmes de gazéification ou pyrolyse à bord. Du côté des matières organiques, l'entreposage (dans des congélateurs ou non) est à prioriser par rapport au composteur domestique ou au déshydrateur. Toutefois, ces résultats peuvent différer avec l'utilisation de l'outil décisionnel.

Ces résultats ont permis de poser quatre recommandations. D'abord, les résultats permettent de suggérer d'installer un compacteur et des congélateurs à bord des navires afin de gérer les matières résiduelles de manière plus sécuritaire et de conserver le potentiel de valorisation des matières une fois à terre. Évidemment, il est aussi recommandé aux armateurs d'utiliser l'outil décisionnel. Cet exercice permettra à ceux-ci d'obtenir les scénarios appropriés en fonction de leurs intérêts, mais aussi de déterminer quels sont les critères prioritaires à leur entreprise. Ensuite, il est proposé de mutualiser la gestion des matières résiduelles des armateurs domestiques. Une mutualisation légitimerait l'envoi de certaines matières résiduelles vers des voies de traitement difficilement accessibles à partir d'un navire seul, tels le système de la consigne et le recyclage du polystyrène (plastique n. 6). En dernier, il est conseillé de reproduire cette analyse chaque année dans le but d'inclure de nouvelles voies de traitement émergentes selon l'approche d'économie circulaire.

En somme, les analyses multicritères et de priorisation ont soutenu la création d'un outil d'aide à la décision à la meilleure gestion des matières résiduelles à bord des navires commerciaux canadiens selon la hiérarchie des 3RV-E. L'étape suivante pourrait s'avérer l'intégration des autres types de matières résiduelles produites à bord des navires dans l'analyse et l'outil. En effet, cette analyse présente ne concerne que trois catégories de matières résiduelles sur les neuf à bord. En particulier, les déchets opérationnels pourraient faire l'objet d'une analyse similaire en eux-mêmes. Ceux-ci pourraient d'ailleurs être intégrés à la mutualisation recommandée par cet essai.

RÉFÉRENCES

- Administration de pilotage des Grands Lacs. (2017). Pilotage obligatoire dans la région des Grands Lacs. Repéré à <http://www.glpa-apgl.com/fr/passage-plan/great-lakes-region-passage-plan/>
- Administration portuaire de Montréal. (2019, 21 mai). L'APM et LOGISTEC augmenteront la capacité de manutention de conteneurs au port de Montréal. *C/SION*. Repéré à <https://www.newswire.ca/fr/news-releases/l-apm-et-logistec-augmenteront-la-capacite-de-manutention-de-conteneurs-au-port-de-montreal-873730286.html>
- Agence d'inspection des aliments. (2012). Directive relative aux déchets internationaux. Repéré à <https://www.inspection.gc.ca/sante-des-animaux/animaux-terrestres/importation/politiques-pour-l-importation/general/2002-17/fra/1321050654899/1323826743862>
- Agriculture, Pêcheries et Alimentation Québec. (2020). Entreposage des aliments. Repéré à <https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Consommation/guideconsommateur/entreposage/Pages/entreposage.aspx>
- Algoma Central Corporation. (2011). *Algoma Central Corporation Environmental Report 2011*. Repéré à <https://www.algonet.com/wp-content/uploads/2015/12/2011-Environmental-Report-rev-2.pdf>
- Algoma Central Corporation. (2015). *2015 Sustainability Report*. Repéré à <https://www.algonet.com/wp-content/uploads/2016/10/2015-Sustainability-Report.pdf>
- Alliance verte. (2018). À propos. Repéré à <https://allianceverte.org/a-propos/>
- Alliance verte. (2019a). Évaluer la performance environnementale. Repéré à <https://allianceverte.org/certification/enjeux-et-criteres/>
- Alliance verte. (2019b). *Indicateurs de rendement pour les armateurs 2019*. Repéré à https://allianceverte.org/wp-content/uploads/2019/03/R%C3%A9sum%C3%A9_2019_Armateur.pdf
- American Bureau of Shipping (ABS). (2012). *ABS Garbage Management Manual*. Repéré à <https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/rules-and-resources/forms/ABS-Garbage-Management-Manual.pdf>
- André Simard et associés. (2006). *Étude portant sur la problématique des lieux d'enfouissement technique pour l'élimination des résidus ultimes de l'agglomération de Montréal*. Repéré à https://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/ENVIRO_FR/MEDIA/DOCUMENTS/13.etude_lieux_enfouissement_technique_1.PDF
- Annex 21 2017 Guidelines for the implementation of MARPOL Annex V*, Resolution MEPC.295(71)
- Armateurs du Saint-Laurent. (2016). *Bottin du TMCD : transport maritime courte distance*. Repéré à https://static1.squarespace.com/static/5af5a5829772aeb1a046140c/t/5b21821e70a6ad1b33a0340f/1528922662526/BottinTMCD_2016.pdf
- Armateurs du Saint-Laurent. (2018). Qui sommes-nous?. Repéré à <https://www.armateurs-du-st-laurent.org/fr/qui-sommes-nous>
- Avellaneda, P.M., Englehardt, J.D., Olascoaga, J., Babcot, E.A., Brand, L., Lirman, D., Rogge, W.F., Solo-Gabriele, H., et Tchobanoglous, G. (2011). Relative risk assessment of cruise ships biosolids disposal alternatives. *Marine Pollution Bulletin*, 62, 2157-2169.

- Banque du Canada. (s.d.). Taux de change annuels. Repéré à https://www.banqueducanada.ca/taux/taux-de-change/taux-de-change-moyens-annuels/?_ga=2.187224936.1793552112.1585772699-1695823761.1585772699
- Biopierre. (2018). *Biochar : la réalité québécoise*. Repéré à http://www.biopierre.com/wp-content/uploads/2018/07/Biopierre_Technote_Biochar-Juin2018.pdf
- Bureau de normalisation du Québec. (2016). Composts. Repéré à <https://www.bnq.qc.ca/fr/normalisation/environnement/composts.html>
- CE Delft et CHEW. (2017). *The Management of Ship-Generated Waste On-board Ships*. Repéré à <https://www.cedelft.eu/en/publications/1919/the-management-of-ship-generated-waste-on-board-ships>
- Chronopoulos, C., Chevalier, P., Picard, I., Kaldas, A., Carabin, P., Holcroft, G. et Swesen, B. (2005, mai). *The plasma arc waste destruction system : one year of maritime experience*. Communication présentée au International Conference on Thermal Treatment Technologies & Hazardous Waste Combustors, Texas, États-Unis. Repéré à <https://www.pyrogenesis.com/wp-content/uploads/2019/09/21.-2005-05-IT3-pawds-one-year-of-maritime-experience-Paper.pdf>
- Cliche, J.F. (2015, 5 décembre). Vaincre les ordures par le feu. *Le Soleil*. Repéré à <https://www.lesoleil.com/actualite/environnement/vaincre-les-ordures-par-le-feu-19f68eedb6c934a3af205bd0b40d3dfd>
- Comité de concertation navigation. (2014). *Stratégie de navigation durable pour le Saint-Laurent : bilan 2004-2011, plan d'action 2012-2017*. Repéré à http://planstlaurent.qc.ca/fileadmin/site_documents/documents/Usages/SND_FR_2015_web_acc.pdf
- Comité sectoriel de main-d'œuvre de l'industrie maritime. (2011). *Lexique des termes usuels dans le transport maritime et liens utiles*. Repéré à http://www.csmoim.qc.ca/public_upload/files/travailleurs/etudes-documentation/lexique-et-liens-utiles.pdf
- Committee on Shipboard Pollution Control, Naval Studies Board, Commission on Physical Sciences, Mathematics, and Applications et National Research Council. (1996). *Shipboard Pollution Control : U.S. Navy Compliance with MARPOL Annex V*. Repéré à <https://www.nap.edu/read/9190/chapter/1>
- Comtois, C. et Slack, B. (2005). *Transformation de l'industrie maritime : portrait international de développement durable appliqué*. Repéré à https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/entreprises-partenaires/entreprises-services-transport-maritime/Documents/transformation_ind_maritime.pdf
- Consignation. (2019). Consignation. Repéré à <https://consignation.ca/>
- Corporation de gestion de la voie maritime du Saint-Laurent (CGVMSL). (2019). *Sommaire 2018-2019 : la voie maritime du Saint-Laurent, prête pour l'avenir*. Repéré à http://www.grandslacs-voiemaritime.com/fr/pdf/cgvmsl_ra2019_fr.pdf
- Corporation de gestion de la voie maritime du Saint-Laurent (CGVMSL). (2020). La Voie maritime du Saint-Laurent : une voie navigable vitale. Repéré à <https://grandslacs-voiemaritime.com/fr/la-voie-maritime/>
- CSL Group. (2018). *Environmental aspects : shipboard environmental aspects*. [Document interne]. Montréal, Québec, Canada : auteur.

- CSL Group. (2019a). *Corporate Sustainability Report 2018*. Repéré à https://www.cslships.com/sites/default/files/csl_sustainability_report_2018_english.pdf
- CSL Group. (2019b). *CSL Canada – gabarge footprint* [Document interne, fichier Excel]. Montréal, Québec, Canada : auteur.
- CSL Group. (2019c). *Waste Inspection Reports* [Document interne]. Montréal, Québec, Canada : auteur.
- D'Arcy, P., Bibeault, J.F. et Comité de concertation navigation. (2004). *Stratégie de navigation durable pour le Saint-Laurent*. Repéré à http://planstlaurent.qc.ca/fileadmin/publications/diverses/SND_longue_f.pdf
- Delitek. (2017). *Waste Management Systems & Solutions for Marine & Offshore by Delitek*. Repéré à <https://www.marshipengineering.com/wp-content/uploads/2017/05/Delitek-AS-presentation-2017.pdf>
- Dessau-Soprin inc. (2006). *Évaluation des choix technologiques de traitement des matières résiduelles pour l'agglomération de Montréal*. Repéré à https://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/ENVIRO_FR/MEDIA/DOCUMENTS/14.evaluation_choix_technologiques_traitement_1.PDF
- Directive relative aux déchets internationaux*, TAHD-DSAT-IE-2002-17-6.
- ecoVRS. (2020). GAIA GC-50, 100 & 150. Repéré à <http://www.ecovrs.com/en/products/food-waste-dryers-gaia/gaia-gc-50100-150/>
- Encyclopedia.com. (2020). Solid waste volume reduction. Repéré à <https://www.encyclopedia.com/environment/encyclopedias-almanacs-transcripts-and-maps/solid-waste-volume-reduction>
- Environnement Canada. (2013a). *Document technique sur l'incinération en discontinu de matières résiduelles*. Repéré à <https://www.ec.gc.ca/gdd-mw/default.asp?lang=Fr&n=0DDD2BD0-1>
- Environnement Canada. (2013b). *Technical document on municipal solid waste organics processing*. Repéré à https://www.ec.gc.ca/gdd-mw/3E8CF6C7-F214-4BA2-A1A3-163978EE9D6E/13-047-ID-458-PDF_accessible_ANG_R2-reduced%20size.pdf
- Environnement et Changement climatique Canada. (2019). *Rapport d'inventaire national 1990-2017 : sources et puits de gaz à effet de serre au Canada*. Repéré à http://publications.gc.ca/collections/collection_2019/eccc/En81-4-2017-2-fra.pdf
- Evac. (s.d.a). Evac U80. Repéré à <https://evac.com/products/evac-u80-glass-crusher/?industry=marine>
- Evac. (s.d.b). Evac UMS 5050. Repéré à <https://evac.com/products/evac-ums-5050-midi-shredder/?industry=marine>
- Fednav Limited. (2020). Environmental Policy. Repéré à <https://www.fednav.com/en/about-us/environment/environmental-policy>
- Gingras, A.M. (2013, 23 juillet). Le centre de tri, étape par étape. *Blogue Cascades*. Repéré à <https://blogue.cascades.com/2013/07/23/centre-tri-etape-etape/>

- Gouvernement du Canada et Gouvernement des États-Unis d'Amérique. (2012). *Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs*. Repéré à https://www.canada.ca/content/dam/ecccc/migration/main/grandslacs-greatlakes/a1c62826-72be-40db-a545-65ad6fcea92/1094_canada-usa-20glwqa_f.pdf
- Gouvernement du Québec. (2015). *Stratégie maritime : la stratégie maritime à l'horizon 2030 - Plan d'action 2015-2020*. Repéré à <https://strategiemaritime.gouv.qc.ca/app/uploads/2015/11/strategie-maritime-plan-action-2015-2020-web.pdf>
- Gouvernement du Québec. (2020). *Portrait du transport maritime au Québec*. Repéré à <https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/entreprises-partenaires/entreprises-services-transport-maritime/Pages/portrait-quebec.aspx>
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Repéré à <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). (2007). *Climate Change 2007 : The Physical Science Basis*. Repéré à https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4_wg1_full_report-1.pdf
- Groupe de travail Suivi de l'état du Saint-Laurent. (2014). *Portrait global de l'état du Saint-Laurent 2014*. Repéré à http://planstlaurent.qc.ca/fileadmin/publications/portrait/Portrait_global_2014_300_FR.pdf
- Groupe Desgagnés. (s.d.). *Sécurité et environnement*. Repéré à <http://groupedesgagnes.com/fr/home/5.html>
- Guénette, J. (réalisateur). (2016). *Recyclage : la grande illusion* [Vidéo en ligne]. Repéré à <https://ici.tou.tv/recyclage-la-grande-illusion>
- Guilbault, O. (2013). *Gestion comparée des mêcheurs au Québec et dans d'autres juridictions* (Essai de Maîtrise). Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, Canada.
- Harbron, J.D. (2014). *Cargos des Grands Lacs*. Repéré à <https://www.thecanadianencyclopedia.ca/fr/article/cargos-des-grands-lacs>
- Hébert, M. (2013). L'épandage des composts et des digestats urbains. *Vecteur Environnement*, 53-57. Repéré à <http://www.environnement.gouv.qc.ca/matieres/articles/quiz-epandage-compost-janvier2013.pdf>
- Hébert, M. (2015). *Guide sur le recyclage des matières résiduelles fertilisantes : Critères de référence et normes réglementaires – Édition 2015*. Repéré à http://www.environnement.gouv.qc.ca/matieres/mat_res/fertilisantes/critere/guide-mrf.pdf
- Home Depot International inc. (2020). *Whirlpool Congélateur coffre W 22 pi. cu. 66-inch avec capacité extra-large en blanc*. Repéré à <https://www.homedepot.ca/produit/whirlpool-congelateur-coffre-w-22-pi-cu-66-inch-avec-capacite-extra-large-en-blanc/1000828427>
- ICF Consulting. (2005). *Analyse des effets des activités de gestion des matières résiduelles sur les émissions de gaz à effet de serre : mise à jour de 2005*. Repéré à <https://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/files/mineralsmetals/pdf/mms-smm/busi-indu/rad-rad/pdf/icf-finr-fra.pdf>
- Joracan. (2015). *New era 20T : large community composter*. Repéré à <http://joracanada.ca/en/joracane20t/>

- Kaldas, A. et Alexander, G. (2008). *Sixty day endurance testing of the plasma arc waste destruction system (PAWDS)*. Communication présentée au International Conference on Thermal Treatment Technologies & Hazardous Waste Combustors, Montréal, Québec. Repéré à <https://www.pyrogenesis.com/wp-content/uploads/2014/01/14.-2008-05-IT3-Sixty-Day-Endurance-Testing-of-PAWDS-Paper.pdf>
- Kaldas, A., Picard, I., Chronopoulos, C., Chevalier, P., Carabin, P., Holcroft, G., Alexander, G., Spe-zio, J., Mann, J. et Molintas, H. (2006). Plasma Arc Waste Destruction System (PAWDS) : A novel approach to waste elimination aboard ships. *Naval Engineers Journal*, 3, 139-150.
- Leidos. (2020). Solid & Liquid Waste Management. Repéré à <https://www.leidos.com/products/ocean-marine>
- Lewis, M. (2018). *Adaptation et développement de la navigation sur la rivière Saguenay dans une optique de développement durable* (Essai de Maitrise). Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, Canada.
- Loi canadienne sur la protection de l'environnement* (1999), L.C. 1999, ch. 33.
- Loi de 2001 sur la marine marchande du Canada*, L.C. 2001, ch. 26.
- Loi maritime du Canada*, L.C. 1998, ch. 10.
- Loi sur la qualité de l'environnement*, L.R.Q., c. Q-2.
- Loi sur le cabotage*, L.C. 1992, ch. 31.
- Loi sur les eaux navigables*, L.R.C. (1985), ch. N-22.
- Lourenço Sanches, V., Marques Aguiar, M.R.C., Vasconcelos de Freitas, M.A., et Acordi Vasques Pacheco, E.B. (2019). Management of cruise ship-generated solide waste : A review. *Marine Pollution Bulletin* (In press). Repéré à <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110785>
- Lutto, L.B. (2001). A comprehensive guide to shipboard waste management options. *Oceans Conference Record (IEEE)*, 1, 295-301.
- Machine4u. (2020). ORWAK Flex 5031 compactor. Repéré à <https://www.machines4u.com.au/view/advert/ORWAK-Flex-5031-compactor/284595/>
- Markle, S.P., Gill, S.E., et McGraw, P.S. (2000). The U.S. Navy afloat solid waste management challenge. *Marine Technology and SNAME News*, 37(4), 200-215.
- MeRLIN. (2019). *Gestion des matières résiduelles générées par l'industrie maritime : vers un renforcement de la coordination navire-port-ville* [Document interne]. Rimouski, Québec, Canada : auteur.
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). (2019a). *Guide de quantification des émissions de gaz à effet de serre*. Repéré à <http://www.environnement.gouv.qc.ca/changements/ges/guide-quantification/guide-quantification-ges.pdf>
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). (2019b). *Lieux d'enfouissement technique (LET) autorisés et en exploitation*. Repéré à <http://environnement.gouv.qc.ca/matieres/reglement/LET-autorise-exploitation.pdf>

- Muraz, J. (2015). *Valorisation de scories cristallines dans le béton de ciment* (Mémoire de Maitrise). Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, Canada.
- National Research Council. (1995). *Clean Ships, Clean Ports, Clean Ocean: Controlling Garbage and Plastic Wastes at Sea*. Washington, DC : The National Academies Press.
- Olivier, M.J. (2016). *Matières résiduelles et 3RV-E : bâtir l'économie circulaire* (2^e édition). Saint-Thomas, Québec, Canada : Lab Éditions.
- Organisation internationale du travail (OIT). (2012a). *International Hazard Datasheets on Occupation : Operator, incinerator*. Repéré à https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/---safework/documents/publication/wcms_192395.pdf
- Organisation internationale du travail (OIT). (2012b). *International Hazard Datasheets on Occupation : Seaman, Merchant Marine*. Repéré à https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/---safework/documents/publication/wcms_190247.pdf
- Organisation internationale du travail (OIT). (2020). About the ILO. Repéré à <https://www.ilo.org/global/about-the-ilo/lang--en/index.htm>
- Organisation maritime internationale (OMI). (2011). *Resolution MEPC.201(62) : Amendments to the annex of the protocol of 1978 relating to the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973*. Repéré à [http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/Garbage/Documents/2014%20revision/RESOLUTION%20MEPC.201\(62\)%20Revised%20MARPOL%20Annex%20V.pdf](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/Garbage/Documents/2014%20revision/RESOLUTION%20MEPC.201(62)%20Revised%20MARPOL%20Annex%20V.pdf)
- Organisation maritime internationale (OMI). (2016). *Resolution MEPC.277(70): Amendments to the annex of the international convention for the prevention of pollution from ships, 1973, as modified by the protocol of 1978 relating thereto*. Repéré à [https://edocs.imo.org/Final Documents/English/MEPC 70-18-ADD.1 \(E\).docx](https://edocs.imo.org/Final Documents/English/MEPC 70-18-ADD.1 (E).docx)
- Organisation maritime internationale (OMI). (2018). *Simplified overview of the discharge provisions of the revised MARPOL Annex V which entered into force on 1 March 2018*. Repéré à <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/Garbage/Documents/Simplified%20overview%20of%20the%20discharge%20provisions%20of%20the%20revised%20MARPOL%20Annex%20V.pdf>
- Organisation maritime internationale (OMI). (2019a). Ballast water management – the control of harmful invasive species. Repéré à <http://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/BWM/Pages/default.aspx>
- Organisation maritime internationale. (OMI). (2019b). Prévention de la pollution par les ordures des navires. Repéré à <http://www.imo.org/fr/ourwork/environment/pollutionprevention/garbage/pages/default.aspx>
- Organisation maritime internationale (OMI). (2019c). Sulphur 2020 – cutting sulphur oxide emissions. Repéré à <http://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Sulphur-2020.aspx>
- Organisation maritime internationale (OMI). (2020a). Présentation de l'OMI. Repéré à <http://www.imo.org/fr/About/Pages/Default.aspx>
- Organisation maritime internationale (OMI). (2020b). Prévention de la pollution. Repéré à <http://www.imo.org/fr/OurWork/Environment/PollutionPrevention/Pages/Default.aspx>

- Organisation maritime internationale (OMI). (2020c). Special Areas under MARPOL. Repéré à <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/SpecialAreasUnderMARPOL/Pages/Default.aspx>
- Organisation maritime internationale (OMI). (s.d.). *Complying with the Ballast Water Management Convention: Stopping the spread of invasive aquatic species*. Repéré à http://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/BWM/Documents/BWM%20infographic_FINAL.pdf
- Organisation mondiale de la Santé (OMS). (2020). Les dioxines et leurs effets sur la santé. Repéré à <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/dioxins-and-their-effects-on-human-health>
- Orwak. (s.d.). *Orwak FLEX 5031*. Repéré à https://orwak.com/wp-content/uploads/2019/03/Orwak-Flex_5031_en.pdf
- Parks, M., Ahmasuk, A., Compagnoni, B., Norris, A. et Rufe, R. (2019). Quantifying and mitigating three major vessel waste streams in the northern Bering Sea. *Marine Policy*, 106, 103530.
- Pêches et Océans Canada. (2002). *Le transport maritime au Québec : analyse des tendances*. Repéré à <http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/271782.pdf>
- Pineau, P.O., Gauthier, P., Whitmore, J., Normandin, D., Beaudain, L. et Beaulieu, J. (2019). *Portrait et pistes de réduction des émissions industrielles de gaz à effet de serre au Québec*. Repéré à http://energie.hec.ca/wp-content/uploads/2019/09/GESIndQc2019-Volet1_Web.pdf
- Plan d'action Saint-Laurent. (2017). *La navigation sur le Saint-Laurent : un écho du passé, une voie d'avenir*. Repéré à http://planstlaurent.qc.ca/fileadmin/site_documents/documents/Usages/Navigation_St-LaurentFR.pdf
- Politique québécoise de gestion des matières résiduelles*, L.R.Q., ch. Q-2, r. 35.1.
- Polystyvert. (2020a). Recyclage de polystyrène. Repéré à <http://www.polystyvert.com/fr/>
- Polystyvert. (2020b). Technologie. Repéré à <http://www.polystyvert.com/fr/technologie/>
- Port de Montréal. (2012). Nouvelles maritimes : Urgence Marine prête pour les nouvelles normes sur les déchets. Repéré à <https://www.port-montreal.com/fr/urgence-marine-aout2012.html>
- Port de Montréal. (2013). Relever le défi de la gestion des ordures et des déchets. Repéré à <https://www.port-montreal.com/fr/defi-de-la-gestion-des-dechets-mai2013.html>
- Port de Montréal. (2015). Qu'est-ce que l'eau de ballast?. Repéré à <https://www.port-montreal.com/fr/qu-est-ce-que-l-eau-de-ballast-sep2015.html>
- PyroGenesis Canada inc. (2012). *Nos produits, nos services et notre histoire*. Repéré à https://cleantuesdayparis.fr/media/files/PyroGenesis-Canada_Inc_Cleantuesday.pdf
- PyroGenesis Canada inc. (2017). *PAWDS (système de destruction des déchets à plasma d'arc)*. Repéré à <https://www.pyrogenesis.com/wp-content/uploads/2017/09/PAWDS-FR.pdf>
- PyroGenesis Canada inc. (2020). PAWDS embarqué. Repéré à <https://www.pyrogenesis.com/fr/produits-services/procedes-de-traitement-des-dechets-au-plasma/pawds-embarque/>
- Recyc-Québec. (s.d.). Matières organiques – Desserte municipale et sites de traitement. Repéré à <https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=17KIToulwN09BfSQvvzq75N4rRBJ7h6QP&ll=45.61421690526967%2C-73.55139749968077&z=12>

- Recyc-Québec. (2016). *Liste des conditionneurs et recycleurs accrédités*. Repéré à <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/liste-conditionneurs-recycleurs-mars.pdf>
- Recyc-Québec. (2018a). *Contenants de verre*. Repéré à <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/fiche-contenant-verre.pdf>
- Recyc-Québec. (2018b). *Contenants et emballages en polystyrène (PS) #6*. Repéré à <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/fiche-polystyrene.pdf>
- Recyc-Québec. (2018c). *Matières organiques*. Repéré à <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/Fiche-info-matieres-organiques.pdf>
- Recyc-Québec. (2018d). *Système de consignation*. Repéré à <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/Fiche-info-consigne.pdf>
- Recyc-Québec. (2019a). La collecte municipale des matières organiques. Repéré à <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/citoyens/matieres-organiques/collecte-municipale>
- Recyc-Québec. (2019b). Qu'est-ce qui va dans le bac?. Repéré à <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/citoyens/mieux-recuperer/quest-ce-qui-va-dans-le-bac>
- Recyc-Québec. (2018c). Responsabilité élargie des producteurs (REP). Repéré à <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/entreprises-organismes/mieux-gerer/responsabilite-elargie-producteurs>
- Recyc-Québec. (2019d). Trucs pratiques et bonnes habitudes pour intégrer le bac brun dans votre routine. Repéré à <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/citoyens/matieres-organiques/trucs>
- Recyc-Québec. (2019e). Visitez un centre de tri. Repéré à <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/visitezuncentredetri#reponses>
- Recycle USA inc. (2020). How many aluminum cans equal 1 pound. Repéré à <https://recycleusainc.com/how-many-aluminum-cans-equal-1-pound/>
- RecyclingWorks. (2015). *On-Site Systems for Managing Food Waste*. Repéré à http://www.recyclingworksma.com/wp-content/uploads/2013/07/On-Site-Systems_edits_062615.pdf
- Règlement sur la déclaration obligatoire de certaines émissions de contaminants dans l'atmosphère*, L.R.Q., c. Q-2, r. 15
- Règlement sur la pollution par les bâtiments et sur les produits chimiques dangereux*, DORS/2012-69.
- Research and Traffic Group. (2013). *Impacts environnementaux et sociaux du transport maritime dans la région des Grands Lacs et de la Voie maritime du Saint-Laurent*. Repéré à <https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/entreprises-partenaires/entreprises-services-transport-maritime/Documents/Impacts.pdf>
- Rochat, L. (2011, 20 octobre). La gestion environnementale des déchets maritimes reste à faire!. *Gaïa Presse*. Repéré à <https://www.gaiapresse.ca/2011/10/la-gestion-environnementale-des-dechets-maritimes-reste-a-faire/>
- Scherrer, F., Abrassart, C., Crahes, V. et Cyr, C. (2017). *Cartographie des acteurs et initiatives en économie circulaire sur le territoire de l'agglomération de Montréal*. Repéré à http://instituteddec.org/DEV/wp-content/uploads/2018/05/rapport_final_IEDDEC_LVP.pdf

- Sindra. (2020). Densité des déchets. Repéré à <http://www.sindra.org/les-dechets-en-auvergne-rhone-alpes/dechets-non-dangereux/fonctionnement-de-sindra/densite-des-dechets>
- SNC-Lavalin, Solinov inc. et Centre interuniversitaire de référence sur l'analyse, l'interprétation et la gestion du cycle de vie des produits, services et procédés (CIRAIG). (2007). *Comparaison des technologies et des scénarios de gestion des matières résiduelles réalisée dans le cadre du PMGMR*. Repéré à http://www.ciraig.org/pdf/Etude_Technologies_PMGMR.pdf
- Société de développement économique du Saint-Laurent (SODES). (2015a). Environnement. Repéré à <https://www.st-laurent.org/bim/connaître-lindustrie-maritime/environnement/>
- Société de développement économique du Saint-Laurent (SODES). (2015b). *L'industrie maritime : un atout essentiel au développement du Québec*. Repéré à http://www.st-laurent.org/wp-content/uploads/2015/05/9147_Brochure_IndusMaritime_fr_LR.pdf
- Société de développement économique du Saint-Laurent (SODES). (2015c). Le traitement des eaux usées. Repéré à <https://www.st-laurent.org/bim/connaître-lindustrie-maritime/environnement/reglementation-et-exigences-environnementales/traitement-eaux-usees/>
- Société de développement économique du Saint-Laurent (SODES). (2015d). Système de traitement des eaux de ballast. Repéré à <https://www.st-laurent.org/bim/connaître-lindustrie-maritime/technologies/technologies-environnementales/systeme-de-traitement-des-eaux-de-ballast/>
- Stratégies Saint-Laurent. (2011). Géographie. Repéré à <https://www.strategiessl.qc.ca/le-saint-laurent/geographie>
- TeamTec. (s.d.). *Incinerators*. Repéré à <https://www.teamtec.no/products/incinerators/>
- TeamTec. (2019). OG 400 models. Repéré à <https://www.teamtec.no/products/incinerators/og-400-models/>
- Terragon. (2015). *Generating Resources from Waste... Enabling the Zero Waste Habitat*. Repéré à <https://www.namepa.net/s/NAMEPA-2016-Terragon.pdf>
- Terragon. (2017). *Transforming Waste into Energy for the Maritime Industry*. Repéré à <https://terragon.net/wp-content/uploads/2017/11/MAGS-Ships-and-Offshore-Platforms-July-2017.pdf>
- Terragon. (2018). *Technical Description Package Micro Auto Gasification System (Mags V8 or V800)*. Repéré à https://www.marshipengineering.com/wp-content/uploads/2019/02/Technology-Description-Package-MAGS-V8-emissions-gas-liquid-biochar-Aug2018_EN.pdf
- Terragon. (2020). Energy from waste – MAGS. Repéré à <https://terragon.net/resource-recovery-solutions/energy-from-waste/>
- Transport Canada. (2013). *Lignes directrices en matière de prévention de la pollution pour l'exploitation des navires de croisière relevant de la compétence du Canada*. Repéré à <https://www.tc.gc.ca/media/documents/marinesafety/TP14202F.pdf>
- Transport Canada. (2018). *Transportation in Canada 2018 : overview report*. Repéré à https://www.tc.gc.ca/documents/Transportation_in_Canada_2018.pdf
- Transport Canada. (2019a). Eaux usées. Repéré à <https://www.tc.gc.ca/fra/securitemaritime/epe-environnement-sources-eauxusees-2247.htm>

- Transport Canada. (2019b). Gestion de l'eau de ballast. Repéré à <https://www.tc.gc.ca/fra/securitemaritime/epe-environnement-sources-ballast-1722.htm>
- Transport Canada. (2019c). Hydrocarbures. Repéré à <https://www.tc.gc.ca/fra/securitemaritime/epe-environnement-sources-hydrocarbures-1530.htm>
- Transport Canada. (2019d). Liste des administrations portuaires canadiennes. Repéré à <https://www.tc.gc.ca/fr/services/maritime/ports-havres/liste-administrations-portuaires-canadiennes.html>
- Transport Canada. (2019e). Ordures. Repéré à <https://www.tc.gc.ca/fra/securitemaritime/epe-environnement-sources-ordures-722.htm>
- Transport Canada. (2019f). Prévention de la pollution du milieu marin par les navires. Repéré à <https://www.tc.gc.ca/fra/securitemaritime/epe-environnement-sources-menu-769.htm>
- Transport Canada. (2019g). Systèmes antisalissures. Repéré à <https://www.tc.gc.ca/fra/securitemaritime/epe-environnement-sources-antisalissures-1964.htm>
- Transport Canada et Travaux publics et Services gouvernementaux publics. (2010). *Vessel Waste : Literature Review*. Ottawa, Ontario : auteur.
- Transport Canada, U.S. Army Corps of Engineers, Department of Transportation (États-Unis), Corporation de gestion de la voie maritime du Saint-Laurent (CGVMSL), Saint Lawrence Seaway Development Corporation, Environnement Canada et U.S. Fish and Wildlife Service. (2007). *Étude des Grands Lacs et de la Voie maritime du Saint-Laurent*. Repéré à <http://www.greatlakes-seaway.com/fr/pdf/GLSL-Final-Report-Fr.pdf>
- Transport Canada et Weir Marine Engineering. (2007). *2007 marine emissions inventory and forecast study*. Repéré à <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1104402.pdf>
- Transport Desgagnés. (2018). *Rapports de caractérisation des matières résiduelles* [Document interne]. Québec, Québec, Canada : Chamard stratégies environnementales.
- Transports Québec. (2009). *Le transport des marchandises sur le Saint-Laurent depuis 1995*. Repéré à https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/entreprises-partenaires/entreprises-services-transport-maritime/Documents/transp_marchandises.pdf
- Tricentris. (2015). Le papier. Repéré à <https://www.tricentris.com/matieres/le-papier/>
- Urgence Marine inc. (2016). Services. Repéré à <http://urgencemarine.com/en/services/>
- Vaneeckhaute, C. et Giguère, N. (2019). Les navires du Québec : Vers la valorisation de leurs matières organiques résiduelles. *Vecteur Environnement*, p. 32-34.
- Vertal inc. (2014). Citypod – Composteurs commerciaux et institutionnels. Repéré à <http://www.vertal.ca/Composteurs%20CITYPOD.html>
- Vertal inc. (2015). *Citypod – spécifications d'équipement*. Repéré à <http://www.vertal.ca/02%20CITYPOD%20Specs%20FR%201502.pdf>
- Ville de Montréal. (s.d.). Centres de tri de recyclage. Repéré à https://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=7237,143357199&_dad=portal&_schema=PORTAL

- Ville de Montréal, Odotech inc. et Solinov inc. (2004). *Projet de recherche et de démonstration sur la mesure, la prévention et le contrôle, la prévision, la surveillance et la détection des odeurs liées aux opérations de compostage*. Repéré à https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/odeurs_liees_au_compostage.pdf
- Voghel inc (2019). Déshydrateurs. Repéré à <https://voghel.com/fr/equipements/deshydrateurs>
- Whirlpool Corporation. (2013). *Refrigerator user instructions*. Repéré à [https://www.whirlpool.ca/content/dam/global/documents/201801/UserInstructions-W10460646-RevB\(EnFr\).pdf](https://www.whirlpool.ca/content/dam/global/documents/201801/UserInstructions-W10460646-RevB(EnFr).pdf)
- Whirlpool Corporation. (s.d.). *Energy Guide*. Repéré à <https://www.whirlpool.ca/content/dam/global/documents/201408/energy-guide-W10642201-RevC.pdf>
- World Health Organization (WHO). (2011). *Guide to ship sanitation (third edition)*. Repéré à https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/43193/9789241546690_eng.pdf;jsessionid=EC94E6FA503D0714E05D13CAC87477C5?sequence=1
- World Wildlife Fund (WWF) Canada. (2018). *Phasing out heavy fuel oil in the Canadian Arctic*. Repéré à http://assets.wwf.ca/downloads/phasing_out_heavy_fuel_oil_report.pdf

ANNEXE 1 - APERÇU SIMPLIFIÉ DES DISPOSITIONS DE DÉCHARGE DE L'ANNEXE 5 DE MARPOL
RÉVISÉ ENTRÉ EN VIGUEUR LE 1^{ER} MARS 2018 (traduction libre de : OMI, 2018)

Type d'ordure ¹	Tous les navires à l'exception des plateformes ⁴		Règle 5 : Plateforme en mer située à plus de 12 nm de la terre la plus près et aux navires lorsqu'à l'intérieur d'un rayon de 500 m d'une telle plateforme ⁴
	Règle 4 : À l'extérieur d'aires spéciales désignées et des eaux de l'Arctique (les distances sont de la terre la plus proche)	Règle 6 : À l'intérieur d'une aire spéciale désignée ou des eaux de l'Arctique (les distances sont de la terre ou du glacier le plus proche)	
Résidus alimentaires broyés ²	≥ 3 nm, en route et le plus loin possible	≥ 12 nm, en route et le plus loin possible ³	Rejet permis
Résidus alimentaires non broyés	≥ 12 nm, en route et le plus loin possible	Rejet interdit	Rejet interdit
Résidus de cargaison ^{5, 6} non contenus dans l'eau de lavage	≥ 12 nm, en route et le plus loin possible	Rejet interdit	Rejet interdit
Résidus de cargaison ^{5, 6} contenus dans l'eau de lavage		≥ 12 nm, en route et le plus loin possible (sujet à certaines conditions de la règle 6.1.2 et paragraphe 5.2.1.5 de la section II-A du Recueil sur la navigation polaire)	Rejet interdit
Agents nettoyants ou additifs ⁶ contenus dans l'eau de lavage de la soute		≥ 12 nm, en route et le plus loin possible (sujet à certaines conditions de la règle 6.1.2 et paragraphe 5.2.1.5 de la section II-A du Recueil sur la navigation polaire)	Rejet interdit
Agents nettoyants ou additifs ⁶ contenus dans l'eau de lavage du pont ou des surfaces extérieures	Rejet permis	Rejet permis	Rejet interdit
Carcasses animales (doivent être divisées ou traitées de manière à ce qu'elles flottent)		Rejet interdit	Rejet interdit
Tout autre ordure incluant le plastique, corde synthétique, matériel de pêche, sac plastique, cendres d'incinérateur, huile à cuisson, fardage flottant, matériel d'emballage, papier, chiffon, verre, métal, bouteilles, vaisselle	Rejet interdit	Rejet interdit	Rejet interdit

¹ Lorsqu'une ordure est mixée avec ou contaminé par une autre substance dangereuse interdite à rejeter ou ayant des règles de déchargement différentes, la règle la plus sévère s'applique.

² Les résidus alimentaires broyés doivent passer un maillage pas plus large que 25 mm.

³ Le rejet de produit aviaire importé dans l'Antarctique est interdit à moins qu'il soit incinéré, autoclavé ou traité pour qu'il soit stérile. En eaux polaires, le rejet doit être fait le plus loin possible d'une aire de concentration de glace de 1/10 ; dans tous les cas, les résidus alimentaires ne doivent pas être rejetés sur la glace.

⁴ Les plateformes en mer situées à 12 miles nautiques (nm) de la terre la plus près et les navires associés regroupent toute plateforme fixe ou flottante engagée dans l'exploration, l'exploitation ou processus associé aux ressources minérales du fond marin, et tous les navires aux côtés de ou à l'intérieur d'un rayon de 500 m d'une telle plateforme.

⁵ Les résidus de cargaison signifient seulement les résidus de cargaison qui ne peuvent être récupérés en utilisant les méthodes de déchargement normales.

⁶ Ces substances ne doivent pas être néfastes pour l'environnement.

ANNEXE 2 - MASSES VOLUMIQUES DES DIFFÉRENTES MATIÈRES RÉSIDUELLES (tiré de :
Sindra, 2020)

Les masses volumiques utilisées proviennent du site internet de Sindra ou l'observatoire des Déchets en Auvergne-Rhône-Alpes, un outil créé par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) de la région afin de favoriser le partage de l'information en matière de GMR (Sindra, 2020).

Matière	Masse volumique (kg/m³)
Plastique	80
Métaux recyclables	2 800
Verre	300
Déchets	300
Papier/Carton	250
Matières organiques	300
Cendres	1 200

ANNEXE 3 - ÉVALUATION DES RISQUES POUR LA SANTÉ ET SÉCURITÉ DES MODES DE GESTION (compilation de : OIT 2012a;
OIT, 2012b)

Évaluation des risques pour la santé et sécurité des modes de gestion

Risque pour la santé ou sécurité du matelot		Moyen de prévention	Mode de gestion										Commentaires, suppositions
			Entreposage	Congélateur	Compacteur	Déchiqueteur	Broyeur à verre	Composteur	Déshydrateur	Incinérateur	MAGS	PAWDS	
Danger accidentel	Brûlure causée par le contact direct avec des surfaces chaudes		0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	Toute surface contenant une combustion comporte un risque de conduire la chaleur et de devenir chaude.
	Décharge électrique causée par contact avec de l'équipement électrique défectueux	Vérifier l'équipement électrique avant de l'utiliser. Donner les équipements électriques défectueux à un électricien qualifié pour les faire réparer.	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Tout appareil électrique comporte un risque de décharge électrique.
	Empoisonnement causé par l'exposition à une cargaison dangereuse ou à des solvants, par l'exposition à du monoxyde de carbone ou autre produit de combustible dans l'air , ou par l'exposition à des composantes dangereuses de déchets.	Ventiler l'aire de travail; porter un masque à gaz si nécessaire; installer une ventilation pour le gaz d'échappement; inspecter régulièrement l'intégrité des équipements à bord.	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	Tout appareil performant une combustion encourt le risque d'émettre des produits atmosphériques de combustion.
	Pris dans une ligne d'amarrage, dans la structure du navire, des items de la cargaison ou dans un mécanisme du navire (pièce rotative)		0	0	0	2	2	2	2	0	0	0	Ce risque s'applique à tous les appareils comportant des pièces rotatives.
	Feu, spécialement impliquant une cargaison inflammable		0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	Ce risque s'applique à tous les appareils performants une combustion.

Évaluation des risques pour la santé et sécurité des modes de gestion (suite)

Risque pour la santé ou sécurité du matelot		Moyen de prévention	Mode de gestion										Commentaires, suppositions
			Entreposage	Congélateur	Compacteur	Déchiqueteuse	Broyeur à verre	Composteur	Déshydrateur	Incinérateur	MAGS	PAWDS	
Danger accidentel	Coupures ou amputation causée par des parties tranchantes d'une cargaison, des mécanismes du navire, lignes d'amarrage, chaînes, ou des outils.	Toujours porter l'Équipement de sécurité nécessaire : casque, bottes à cap d'acier, lunettes de protection, etc.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Frappé par des cendres volatiles ou des débris , incluant la pénétration dans l'œil	Porter des chandails à manches longues et protéger les mains avec des gants; porter des lunettes de protection.	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	Ce risque s'applique à tous les appareils performants une combustion.
	Glisser et tomber sur un sol glissant, couvert d'essence, de débris, etc.	Porter des bottes à cap d'acier	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	Le sol devient glissant lorsque des matières organiques putréfient (se liquéfient) ou lorsque du carburant est utilisé (risque de fuite au sol)
	Chute de contenants à déchets ou autre charge lourde sur les jambes		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Lors du transport des matières résiduelles jusqu'au site d'entreposage à bord.
Dangers physiques	Exposition à du bruit incessant causé par le moteur ou autres équipements	Porter des protections auditives appropriées	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	Le bruit incessant est considéré lorsque l'appareil est en marche plus de deux heures d'affilée.
	Exposition à des conditions extrêmes lors du travail sur le pont : froid, chaleur, humidité , vents, pluies, etc., et à des changements de températures drastiques (ex. entrer et sortir)	Porter les vêtements appropriés selon la température	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	S'applique aux modes de gestion situés entièrement ou en partie à l'extérieur.

Évaluation des risques pour la santé et sécurité des modes de gestion (suite)

Risque pour la santé ou sécurité du matelot		Moyen de prévention	Mode de gestion										Commentaires, suppositions
			Entreposage	Congélateur	Compacteur	Déchiqueteur	Broyeur à verre	Composteur	Déshydrateur	Incinérateur	MAGS	PAWDS	
Dangers physiques	Exposition à la chaleur dans les quartiers du navire n'ayant pas d'air climatisé ou lors de travail près de machines produisant de la chaleur et risque associé au travail dans un endroit confiné.	Porter des chandails à manches longues et protéger les mains avec des gants	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	S'applique aux modes de gestion situés entièrement ou en partie à l'intérieur.
Dangers chimiques	Exposition à des produits de dégradation thermique de déchets : CO, SO ₂ , NO _x , chlorure d'hydrogène, phosgène, dioxines, dibenzofuranes, cyanure, isocyanates, particules de métaux	Porter une protection respiratoire	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	Tout appareil performant une combustion encourt le risque d'émettre des produits de dégradation thermique.
	Exposition à des éléments dangereux des déchets durant son transport	Porter une protection respiratoire	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Lors du transport des matières résiduelles jusqu'au site d'entreposage à bord
Dangers biologiques	Exposition à des déchets contaminés par des microorganismes et autres produits toxiques		2	0	2	2	2	0	0	0	0	0	S'applique aux matières organiques en putréfaction.
	Risques de maladies transmises par des pestes, vermines, rongeurs, insectes ou autre animal pouvant infester le navire		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Ce risque n'est pas limité à la putréfaction des matières organiques.

Évaluation des risques pour la santé et sécurité des modes de gestion (suite)

Risque pour la santé ou sécurité du matelot		Moyen de prévention	Mode de gestion										Commentaires, suppositions
			Entreposage	Congélateur	Compacteur	Déchiqueteur	Broyeur à verre	Composteur	Déshydrateur	Incinérateur	MAGS	PAWDS	
Facteurs ergonomiques, psychologiques et organisationnels	Trouble traumatique cumulatif, spécialement extrémités supérieures du corps et le dos, causé par la manipulation de charges lourdes et par des mouvements ardus durant les tâches routinières.	Apprendre et utiliser les techniques de soulèvement sécuritaires pour les charges lourdes; utiliser les aides mécaniques si nécessaire	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Facteurs physiques et psychologiques de malaise causé par un milieu de vie instable sur le navire (manque d'intimité, quartiers confinés, exposition à de mauvaises odeurs)	Ne jamais entrer dans une salle non ou mal éclairée; utiliser une source de lumière portable	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	S'applique aux matières organiques en putréfaction.
	Caractère monotone et ennuyeux des tâches causant un manque d'alerte	Ne jamais entrer dans une salle non ou mal éclairée; utiliser une source de lumière portable	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
TOTAL			13	11	15	17	17	13	15	19	19	18	

ANNEXE 4 - COUTS LIÉS AU DÉCHARGEMENT AU PORT DES MATIÈRES RÉSIDUELLES D'UN NAVIRE

Les tarifs utilisés proviennent de CSL. Le prix du service de base correspond au prix fixe demandé pour chaque déchargement de matières résiduelles pris en charge par le sous-traitant. Celui-ci varie en fonction du port dans lequel le déchargement est fait et du jour où il s'effectue. Afin d'uniformiser l'analyse, un seul prix du service de base est utilisé; il s'agit de la moyenne entre les prix du port de Montréal et du port de Québec en journée de semaine. Le prix de location d'équipement s'applique aux frais de location de cages en métal (voir figure 5.1a) nécessaires à l'entreposage des matières recyclables et déchets domestiques. Une cage possède un volume de 1,91 m³. Le nombre de cages nécessaires a été déterminé avec le volume maximal d'entreposage des déchets domestiques et matières recyclables. Pour calculer le prix de location des cages, les volumes des matières recyclables et des déchets domestiques ont été combinés puisqu'ils sont entreposés ensemble dans celles-ci. Les bacs recueillant les matières organiques n'ont pas de frais de location. Le prix de traitement s'applique par volume de matière à traiter et varie pour tous les flux. Les matières organiques ont un prix de traitement différent selon le port auxquelles elles sont déchargées. La moyenne des prix du port de Montréal et du port de Québec a été utilisée. Les prix de traitement ont été ramenés en \$/m³. Dans les cas de l'incinérateur, du MAGS et du PAWDS, les finalités ne sont plus les matières d'origine. Aucune donnée n'a été trouvée sur le prix de traitement de cendres, biochar ou scories. Donc, le prix de traitement de la matière d'origine a été utilisé.

Les sources des prix des technologies se trouvent à la section 5. Le prix d'achat des technologies ne s'applique pas au prix total pour 12 jours, mais seulement au prix extrapolé sur 5 ans. La consommation de la technologie est évaluée de deux manières selon le type de carburant utilisé : l'électricité ou du diesel. L'électricité du navire provient de moteurs auxiliaires alimentés ou fioul lourd ou diesel. Les moteurs auxiliaires consomment 210 grammes (g) de carburant par kilowattheure (kWh). (Transport Canada et Weir Marine Engineering, 2007) La consommation en kWh des technologies est présentée dans les tableaux. Le prix du carburant utilisé dans le calcul du prix de la consommation de la technologie provient d'une étude de World Wildlife Fund (WWF) Canada qui présente les prix moyens par mois du fioul lourd de novembre 2013 à décembre 2017 (WWF Canada, 2018). La moyenne de tous les prix par mois (355,78 \$/tonne de carburant) a été prise pour l'analyse des coûts associés.

5.1 Entreposage

Matière	Prix de traitement (\$/m³)	Volume maximal d'entreposage (m³)	Volume des matières transformées	Prix total pour 12 jours (\$)	Prix extrapolé sur 5 ans (\$)
Plastique	19,13	9,6	-	183,65	27 930,10
Papier et carton					
Verre					
Métaux recyclables					
Déchets domestiques	22,95	4,52	-	103,73	15 775,60
Matières organiques	14,15	3,94	-	55,75	8 478,65
Prix du service de base (\$/12 jours)				615,00	93 531,25
Prix location d'équipement (1,50 \$/jour/1,91 m³)				144,00	21 900,00
Sous-total des frais liés à la GMR à bord				1 102,13	167 615,60
Prix achat de la technologie				0	0,00
Consommation de la technologie	-			0	0,00
Sous-total des investissements				0	0,00
TOTAL DES COUTS LIÉS				1 102,13	167 615,60

5.2 Congélateur

Matière	Prix de traitement (\$/m³)	Volume maximal d'entreposage (m³)	Volume des matières transformées	Prix total pour 12 jours (\$)	Prix extrapolé sur 5 ans (\$)
Plastique	19,13	9,6	-	183,65	27 930,10
Papier et carton					
Verre					
Métaux recyclables					
Déchets domestiques	22,95	4,52	-	103,73	15 775,60
Matières organiques	14,15	3,94	-	55,75	8 478,65
Prix du service de base (\$/12 jours)				615,00	93 531,25
Prix location d'équipement (1,50 \$/jour/1,91 m³)				144,00	21 900,00
Sous-total des frais liés à la GMR à bord				1 102,13	167 615,60
Prix achat de la technologie	895,00 \$/congélateur			-	6 265,00
Consommation de la technologie	1,06 kWh/jour/congélateur			6,65	1 011,74
Sous-total des investissements				6,65	7 276,74
TOTAL DES COUTS LIÉS				1 108,78	174 892,34

5.3 Compacteur

Matière	Prix de traitement (\$/m³)	Volume maximal d'entreposage (m³)	Volume des matières transformées	Prix total pour 12 jours (\$)	Prix extrapolé sur 5 ans (\$)
Plastique	19,13	8,92	0,82	15,69	2 386,19
Papier et carton					
Métaux recyclables					
Verre					
Déchets domestiques	22,95	4,52	0,452	10,37	1 577,10
Matières organiques	14,15	3,94	-	55,75	8 478,65
Prix du service de base (\$/12 jours)				615,00	93 531,25
Prix location d'équipement (1,50 \$/jour/1,91 m³)				36,00	5 475,00
Sous-total des frais liés à la GMR à bord				745,78	113 420,71
Prix achat de la technologie	11 442,72 \$/Compacteur			-	11 442,72
Consommation de la technologie	1,32 kWh/12 jours			0,10	15,21
Sous-total des investissements				0,10	11 457,93
TOTAL DES COUTS LIÉS				745,78	124 878,64

5.4 Déchiqueteur

Matière	Prix de traitement (\$/m3)	Volume maximal d'entreposage (m³)	Volume des matières transformées	Prix total pour 12 jours (\$)	Prix extrapolé sur 5 ans (\$)
Plastique	19,13	8,92	0,82	15,69	2 386,19
Papier et carton					
Métaux recyclables					
Verre					
Déchets domestiques	22,95	4,52	0,452	10,37	1 577,10
Matières organiques	14,15	3,94	-	55,75	8 478,65
Prix du service de base (\$/12 jours)				615,00	93 531,25
Prix location d'équipement (1,50 \$/jour/1,91 m³)				36,00	5 475,00
Sous-total des frais liés à la GMR à bord				745,78	113 420,88
Prix achat de la technologie	37 140,00 \$/Déchiqueteur			-	37 140,00
Consommation de la technologie	9,0 kWh/12 jours			0,67	101,90
Sous-total des investissements				0,67	37 241,90
TOTAL DES COUTS LIÉS				746,45	150 662,78

5.5 Broyeur à verre

Matière	Prix de traitement (\$/m³)	Volume maximal d'entreposage (m³)	Volume des matières transformées	Prix total pour 12 jours (\$)	Prix extrapolé sur 5 ans (\$)
Plastique	19,13	8,92	-	170,64	25 951,50
Papier et carton					
Métaux recyclables					
Verre		0,678	0,136	2,60	395,42
Déchets domestiques	22,95	4,52	-	103,73	15 775,60
Matières organiques	14,15	3,94	-	55,75	8 478,65
Prix du service de base (\$/12 jours)				615	93 531,25
Prix location d'équipement (1,50 \$/jour/1,91 m³)				144	21 900,00
Sous-total des frais liés à la GMR à bord				1 091,72	166 032,42
Prix achat de la technologie	14 856,00 \$/Broyeur			-	14 856,00
Consommation de la technologie	3,6 kWh/12 jours			0,27	41,06
Sous-total des investissements				0,27	14 897,06
TOTAL DES COUTS LIÉS				1 091,99	180 929,48

5.6 Composteur

Matière	Prix de traitement (\$/m³)	Volume maximal d'entreposage (m³)	Volume des matières transformées	Prix total pour 12 jours (\$)	Prix extrapolé sur 5 ans (\$)
Plastique	19,13	9,6	-	183,65	27 930,10
Papier et carton					
Métaux recyclables					
Verre					
Déchets domestiques	22,95	4,52	-	103,73	15 775,60
Matières organiques	14,15	3,94	2,76	39,05	5 938,85
Prix du service de base (\$/12 jours)				615	93 531,25
Prix location d'équipement (1,50 \$/jour/1,91 m³)				144	21 900,00
Sous-total des frais liés à la GMR à bord				1 085,43	165 075,80
Prix achat de la technologie	61 700,85 \$/Composteur			-	61 700,85
Consommation de la technologie	15,6 kWh/12 jours			1,17	177,94
Sous-total des investissements				1,17	61 878,79
TOTAL DES COUTS LIÉS				1 086,60	226 954,59

5.7 Déshydrateur

Matière	Prix de traitement (\$/m³)	Volume maximal d'entreposage (m³)	Volume des matières transformées	Prix total pour 12 jours (\$)	Prix extrapolé sur 5 ans (\$)
Plastique	19,13	9,6	-	183,65	27 930,10
Papier et carton					
Métaux recyclables					
Verre					
Déchets domestiques	22,95	4,52	-	103,73	15 775,60
Matières organiques	14,15	3,94	0,788	11,15	1 695,73
Prix du service de base (\$/12 jours)				615,00	93 531,25
Prix location d'équipement (1,50 \$/jour/1,91 m³)				144,00	21 900,00
Sous-total des frais liés à la GMR à bord				1 057,53	160 832,68
Prix achat de la technologie	42 460,80 \$/Déshydrateur			-	42 460,80
Consommation de la technologie	600 kW/12 jours			44,83	6 817,63
Sous-total des investissements				44,83	49 278,43
TOTAL DES COUTS LIÉS				1 102,36	210 111,11

5.8 Incinérateur

Matière	Prix de traitement (\$/m³)	Volume maximal d'entreposage (m³)	Volume des matières transformées	Prix total pour 12 jours (\$)	Prix extrapolé sur 5 ans (\$)
Plastique	19,13	1,17	-	22,38	3 403,62
Papier et carton		7,63	1,14	21,81	3 318,46
Métaux recyclables		0,129	-	2,47	375,65
Verre		0,678	-	12,97	1 972,52
Déchets domestiques	22,95	4,52	0,678	15,56	2 366,42
Matières organiques	14,15	3,94	0,591	8,36	1 271,42
Prix du service de base (\$/12 jours)				615,00	93 531,25
Prix location d'équipement (1,50 \$/jour/1,91 m³)				36,00	5 475,00
Sous-total des frais liés à la GMR à bord				734,55	111 714,34
Prix achat de la technologie	199 035,00 \$/Incinérateur			-	199 635,00
Consommation électrique	1 110 kWh/12 jours			82,93	12 612,27
Consommation de carburant	1,036 t/12 jours			368,59	56 056,40
Sous-total des investissements				451,52	267 703,67
TOTAL DES COUTS LIÉS				1 186,07	380 018,01

5.9 MAGS

Matière	Prix de traitement (\$/m³)	Volume maximal d'entreposage (m³)	Volume des matières transformées	Prix total pour 12 jours (\$)	Prix extrapolé sur 5 ans (\$)
Plastique	19,13	1,17	0,058 5	1,12	170,33
Papier et carton		7,63	0,382	7,31	1 111,73
Métaux recyclables		0,129	-	2,47	375,65
Verre		0,678	-	12,97	1 972,52
Déchets domestiques	22,95	4,52	0,226	5,19	789,31
Matières organiques	14,15	3,94	0,197	2,79	424,31
Prix du service de base (\$/12 jours)				615,00	93 531,25
Prix location d'équipement (1,50 \$/jour/1,91 m³)				18,00	2 737,50
Sous-total des frais liés à la GMR à bord				664,85	101 112,60
Prix achat de la technologie	97 500,00 \$/MAGS			-	97 500,00
Consommation électrique	2 134 kWh/12 jours			159,44	24 248,05
Consommation de carburant	0,085 5 t/12 jours			30,42	4 626,25
Sous-total des investissements				189,86	126 374,30
TOTAL DES COUTS LIÉS				854,71	227 486,90

5.10 PAWDS

Matière	Prix de traitement (\$/m³)	Volume maximal d'entreposage (m³)	Volume des matières transformées	Prix total pour 12 jours (\$)	Prix extrapolé sur 5 ans (\$)
Plastique	19,13	1,17	0,058 5	1,12	170,33
Papier et carton		7,63	0,382	7,31	1 111,73
Métaux recyclables		0,129	-	2,47	375,65
Verre		0,678	-	12,97	1 972,52
Déchets domestiques	22,95	4,52	0,226	5,19	789,31
Matières organiques	14,15	3,94	0,197	2,79	424,31
Prix du service de base (\$/12 jours)				615,00	93 531,25
Prix location d'équipement (1,50 \$/jour/1,91 m³)				18,00	2 737,50
Sous-total des frais liés à la GMR à bord				664,85	101 112,60
Prix achat de la technologie	297 120,00 \$/PAWDS			-	297 120,00
Consommation électrique	8 100 kWh/12 jours			605,18	92 038,06
Sous-total des investissements				605,18	389 158,06
TOTAL DES COUTS LIÉS				1 270,83	490 270,66

ANNEXE 5 - VOIES DE TRAITEMENT DES FINALITÉS SORTANT DES MODES DE GESTION À BORD

Voies de traitement des finalités sortant des modes de gestion à bord

Matière résiduelle		Voies de traitement	3RV-E		Justification	Source
Matière organique	Matière organique	Compostage	Recyclage	3	Nulle part n'est-il spécifié que la matière organique déshydratée ou le compost domestique n'est pas accepté dans la collecte de matière organique et donc aux centres de compostage et biométhanisation.	
	Matière organique déshydratée	Biométhanisation	Recyclage	3		
	Compost	Lieu d'enfouissement technique	Élimination	1		
Déchets ultimes	Déchet domestique	Polystyvert	Recyclage	3	Polystyvert recycle le plastique polystyrène (# 6) présentement non accepté en centre de tri. Des déchets domestiques, le plastique #6 peut donc être séparé et recyclé à terre.	Scherrer et al., 2017; Polystyvert, 2020a
		Lieu d'enfouissement technique	Élimination	1	Les autres déchets domestiques n'ont d'autre voie que l'élimination en lieu technique d'enfouissement.	
Matière recyclable	Papier et carton	Compostage	Recyclage	3	Le papier et le carton, en tant que matière organique, sont acceptés dans la collecte de matière organique.	Recyc-Québec, 2019a
		Biométhanisation	Recyclage	3		
		Centre de tri	Recyclage	3	Le papier et le carton se recyclent facilement en centre de tri.	Recyc-Québec, 2019b
		Lieu d'enfouissement technique	Élimination	1	Les matières peuvent toutes être envoyées à l'élimination, bien que celle-ci n'offre aucun avantage et devrait être le dernier recours, selon la hiérarchie des 3RV-E.	
	Plastique	Centre de tri	Recyclage	3	Les plastiques (excepté le #6) sont acceptés en centre de tri.	Recyc-Québec, 2019b
		Lieu d'enfouissement technique	Élimination	1	Les matières peuvent toutes être envoyées à l'élimination, bien que celle-ci n'offre aucun avantage et devrait être le dernier recours, selon la hiérarchie des 3RV-E.	
	Verre	Centre de tri	Recyclage	3	Le verre de toute forme et couleur est accepté dans les centres de tri.	Recyc-Québec, 2019b
		Lieu d'enfouissement technique	Élimination	1	Les matières peuvent toutes être envoyées à l'élimination, bien que celle-ci n'offre aucun avantage et devrait être le dernier recours, selon la hiérarchie des 3RV-E.	
	Métaux recyclables	Centre de tri	Recyclage	3	Les métaux recyclables sont acceptés en centre de tri.	Recyc-Québec, 2019b

Voies de traitement des finalités sortant des modes de gestion à bord (suite)

Matière résiduelle		Voies de traitement	3RV-E		Justification	Source
Matière recyclable	Métaux recyclables	Consigne (canettes aluminium)	Recyclage	3	Les canettes de boisson gazeuse en aluminium sont consignées au Québec. C'est-à-dire qu'elles suivent une voie de recyclage différente les permettant d'être recyclés à 100 %.	Consignation, 2019
		Lieu d'enfouissement technique	Élimination	1	Les matières peuvent toutes être envoyées à l'élimination, bien que celle-ci n'offre aucun avantage et devrait être le dernier recours, selon la hiérarchie des 3RV-E.	
	Papier et carton déchiqueté	Centre de tri	Recyclage	3	Le papier déchiqueté doit être gardé séparé des autres matières et regroupé dans un sac transparent.	Tricentris, 2015
		Lieu d'enfouissement technique	Élimination	1	Les matières peuvent toutes être envoyées à l'élimination, bien que celle-ci n'offre aucun avantage et devrait être le dernier recours, selon la hiérarchie des 3RV-E.	
	Plastique déchiqueté	Lieu d'enfouissement technique	Élimination	1	Le plastique et les métaux déchiquetés ne peuvent pas être triés dans un centre de tri.	M. Olivier, notes, 7 avril 2020
	Métaux déchiquetés					
	Verre broyé	Lieu d'enfouissement technique	Élimination	1	Le verre sous forme non conventionnel (contenant ou emballage) entrave le travail de tri, contamine les autres matières et peut endommager l'équipement des centres de tri. Pour cette raison, il doit être envoyé au lieu d'enfouissement technique.	Recyc-Québec, 2018a; Recyc-Québec, 2019b
Autres finalités	Biochar	Lieu d'enfouissement technique	Élimination	1	Bien que ces trois matières puissent être valorisées notamment en additifs dans divers composés, les marchés ne sont pas assez développés à Montréal pour permettre aux armateurs d'y participer.	Biopterre, 2018; Guibault, 2013; Muraz, 2015
	Scories					
	Cendres — Mâchefer					

ANNEXE 6 - ÉMISSIONS GES DES OPTIONS DE GESTION DES MATIÈRES RÉSIDUELLES (tiré de : ICF Consulting, 2005)

Émissions de GES des options de gestion des matières résiduelles (tonnes éCO₂/tonne de matières résiduelles) (tiré de : ICF Consulting, 2005)

Matériau	Émissions nettes du recyclage	Émissions nettes du compostage	Émissions nettes de la digestion anaérobie	Émissions nettes de l'incinération	Émissions nettes des sites d'enfouissement (ENSE) – Moyenne nationale	ENSE sans récupération des biogaz	ENSE avec récupération des biogaz et brûlage	ENSE avec récupération des biogaz et de l'énergie
Papier journal	(0,30)	S/O	(0,38)	(0,05)	0,23	0,32	0,09	0,08
Papier fin	(0,36)	S/O	(0,22)	(0,04)	1,35	1,88	0,48	0,45
Carton	(0,21)	S/O	(0,20)	(0,04)	1,19	1,66	0,43	0,40
Autres papiers	(0,25)	S/O	(0,12)	(0,04)	1,22	1,70	0,44	0,40
Aluminium	(6,49)	S/O	0,13	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Acier	(1,18)	S/O	0,13	(1,03)	0,01	0,01	0,01	0,01
Fil de cuivre	(4,10)	S/O	0,13	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Verre	(0,10)	S/O	0,13	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
PEHD	(2,27)	S/O	0,13	2,89	0,01	0,01	0,01	0,01
PET	(3,63)	S/O	0,13	2,17	0,01	0,01	0,01	0,01
Autres plastiques	(1,80)	S/O	0,13	2,67	0,01	0,01	0,01	0,01
Résidus alimentaires	S/O	0,02	0,02	0,02	0,89	1,23	0,32	0,30
Résidus de jardinage	S/O	0,02	(0,04)	0,01	0,43	0,59	0,16	0,15
Électroménagers	(1,46)	S/O	0,13	(0,26)	0,01	0,01	0,01	0,01
Ordinateurs personnels	(1,60)	S/O	0,13	0,41	0,01	0,01	0,01	0,01
Téléviseurs	(0,23)	S/O	0,13	0,75	0,01	0,01	0,01	0,01
Fours à micro-ondes	(1,27)	S/O	0,13	(0,55)	0,01	0,01	0,01	0,01
Magnétoscopes	(0,95)	S/O	0,13	0,15	0,01	0,01	0,01	0,01
Pneus	(3,29)	S/O	0,13	(0,49)	0,01	0,01	0,01	0,01